



ОБЗОРЫ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

Серия 1

СВЧ-ТЕХНИКА

Выпуск 5(1673)

Л. А. Ашкинази

**ТЕРМО- И ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КАТОДЫ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ И ГАЗОРАЗРЯДНЫХ
ПРИБОРОВ**

1992

В аналитическом обзоре кратко освещены основные результаты по теории катодов, их структуре и составу, методам контроля параметров катодов, измерению неоднородностей и шумов, конструированию катодных узлов и испытаниям. Рассмотрены антиэмиссионные покрытия. Дан статистический анализ массива публикаций по катодам.

Обзор составлен на основе отечественной и зарубежной литературы за 1986—1991 гг. и представляет интерес для специалистов электронной техники, занимающихся вопросами разработки новых материалов термо- и вторично-электронных катодов, методов исследования их свойств, созданием и совершенствованием электровакуумных и газоразрядных приборов.

Научный редактор А. Б. Киселев

Серия I. СВЧ-техника

Выпуск 5(1673)

Л.А.Апкинази

ТЕРМО- И ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КАТОДЫ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ И ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРИБОРОВ

(по данным отечественной и зарубежной печати за 1986-1991 гг.)

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	2
1. Оксидные катоды	2
2. Металлопористые катоды	7
3. Металлосплавные катоды	16
4. LaB_6 -катоды	17
5. Прочие типы термокатодов	23
6. Контроль параметров, неоднородность, шумы	28
7. Вторично-электронные катоды	30
8. Конструирование катодно-подогревательных узлов, тепловые проблемы	34
9. Антиэмиссионные материалы	36
10. Проблема всесторонних испытаний	38
11. Анализ массива публикаций по термо- и вторично-электронным катодам	39
12. Конкуренты термокатодов	40
13. Проблема испытаний с большим токоотбором	42
Заключение	45
Литература	46

Данный обзор в основном продолжает тематику и структуру обзоров [1-4]. В отличие от [4] и предшествующих обзоров здесь приведены также сведения по термокатодам газоразрядных приборов (публикации с 1983 года). Материал данного обзора впервые докладывался на XXI конференции по эмиссионной электронике [5].

1. ОКСИДНЫЕ КАТОДЫ

Все публикации по оксидным катодам (ОК) могут быть условно разделены на три группы. Во-первых, работы по классическим технологиям – усовершенствование собственно технологий, исследование структуры катодов и их внешних параметров (испарение, эмиссия). Во-вторых, работы по новым технологиям – разработка, исследование структуры, исследование внешних параметров. В-третьих, теоретические работы, не связанные с определенной технологией.

В области классических технологий выполнены следующие работы. По мнению авторов [6], в процессе разложения карбонатов в покрытии катода образуется свободный барий, который потом окисляется CO_2 , что увеличивает работу выхода ОК до 2,1 эВ. В работе [7] оптимизирован процесс осаждения тройного карбоната с целью получения однородного карбоната с заданной концентрацией компонентов. В работе [8] исследована зависимость структуры металлизированного ОК от технологии и показано, что при введении 1 % вольфрама в покрытие кристаллы оксида после разложения карбоната получаются мельче, так как присадка увеличивает количество зародышей. Отметим необычный активатор, примененный в этой работе, – цирконат магния. Ход изменения работы выхода в процессе срока службы ОК обследован в [9]. Фазовый состав, элементный состав и структура молекулярно-напыленного ОК исследованы в [10-14], плазменно-напыленного – в [15]. В некоторых случаях [10, 11] обнаружена фазовая неоднородность. Показано, что карбонизация защищает молекулярно-напыленный ОК от паров воды [14], что при бомбардировке его ионами аргона образуется дефектная решетка пероксида [13]. В работе [16] исследовано газовыделение покрытия ОК, нанесенного плазменным методом, обеспечивающим переход 50...60 % карбонатов в окислы. Максимум выделения H_2O соответствует температуре 400 °С, СО и CO_2 – 800 °С. При этом содержание СО в газах, выделяющихся из катода, примерно равно содержанию CO_2 . В работе [17] показано, что при нагреве молекулярно-напыленного ОК

восстановление эмиссионной способности (после сорбции остаточных газов на холодном катоде) происходит не более чем за 0,1 с. В работе [18] исследована реакционная способность оксидной компоненты этого катода. В работе [19] показано, что термическое напыление меди, никеля и платины на поверхность ОК влияет на эмиссию одинаково, причем 10-мкм пленка уменьшает работу выхода при температуре 300...500 °C на 0,1...0,05 эВ соответственно, а толстые пленки работу выхода увеличивают. При анализе подобных данных надо учитывать, что в ОК эмитируют в основном поры покрытия, а наружная поверхность внешнего слоя кристаллов в основном служит "приемником" остаточных газов. Термо- и вторично-электронная эмиссия ОК при сорбции натрия изучена в [20,21]; показано, что работа выхода уменьшается при сорбции натрия и восстановлении BaO натрием. Из обзора патентов [22] можно заключить, что продолжаются работы по управлению потоком активатора в покрытии ОК, например, путем нанесения поверх керна (никель-вольфрам-цирконий, никель-вольфрам-магний) диффузионного барьера (платина - 0,1 мкм). В обзоре [23] рассмотрен механизм работы ОК, наиболее подробно - роль активатора. В [24] утверждается, что зависимость проводимости ОК от содержания в нем высокодисперсной платины является немонотонной. Согласно [25], при введении в ОК высокодисперсной платины снижается температура активирования. Никель, введенный в ОК [26], образует твердый раствор с окислами. Суспензия карбонатов с высокодисперсным рутением исследована в [27]. Процесс ионного обмена при введении никеля в карбонаты исследован в [28].

Несколько работ посвящено оксидному катоду с никелевой губкой, эмитирующая структура которого - кристаллы окислов, вырастающие на поверхности никеля при прогреве карбонатов и затем - окислов, находящихся в порах губки (губчатый оксидно-никелевый катод).

В работе [29] дан термодинамический расчет процессов разложения карбоната и образования твердого раствора при обработке такого катода. В работе [30] исследуется спектр характеристических потерь энергии электронов для таких катодов. В работе [31] высказано мнение, что оксидно-никелевый катод является пленочным, содержащим на поверхности металлические барий, стронций, кальций. Кроме того, на поверхности обнаружены никель и 200-мкм вкрапления циркония (катод содержал цирконий в качестве активатора), одновременно с цирконием наблюдались углерод и кислород. В [32] исследована функция распределения поверхности катода по работе выхода. По мнению авторов [33], на поверхности ОК есть кристаллиты окислов и пленки бария.

В плане исследований ОК, изготовленных по классическим технологиям, отметим прежде всего работы [34-36], в которых исследуются процессы испарения веществ, входящих в состав ОК. В [34,35] подтверждены данные о существенном испарении из ОК стронциевого и кальциевого компонентов, а не только бариевого. Скорость испарения стронциевого компонента составляет около 0,1, а кальциевого - около 0,01 от бариевого, при этом скорость испарения стронциевого и кальциевого компонентов соответственно в $10...10^2$ и в $10^3...10^4$ раз больше, чем чистых SrO и CaO . В работе [36] показано, что скорость испарения стронциевого компонента составляет 0,2...0,3 от бариевого. При анализе этих работ следует учитывать суммирование потоков веществ, испаряющихся с разных кристаллов покрытия, и действие активатора. В частности, в [36] определено, что бария испаряется столько же, сколько BaO , что указывает именно на действие активатора. В [37] исследован процесс диффузии в биметаллическом керне никель-вольфрам/никель-хром. Процессы окисления и восстановления бария при обработке ОК исследованы в [38], газовыделения - в [39]. Усовершенствование технологии обработки ОК предложено в [40], метод контроля эмиссионного брака - в [41]. Поглощение влаги при хранении ОК исследовано в [42]; при температуре $100...150^\circ\text{C}$ поглощение уменьшается в $10^2...10^3$ раз [43].

Перейдем к работам, посвященным исследованию эмиссионных свойств ОК. После 15-летнего перерыва опубликованы новые данные об отравлении ОК. Эмиссионные свойства катода ухудшаются на 20 % при следующих давлениях остаточных газов: SO_2 - 10^{-6} Па, Cl_2 - $2 \cdot 10^{-6}$ Па, O_2 - 10^{-5} Па, NO_2 - 10^{-5} Па, H_2O - $3 \cdot 10^{-5}$ Па, CO_2 - 10^{-4} Па, CO - $2 \cdot 10^{-3}$ Па (температура катода не указывается, поэтому данные являются относительными) [44]. В [45] показано, что напыление на ОК пленки германия толщиной 0,1...0,2 мкм увеличивает работу выхода на 0,1 эВ. Пленка устойчива более 50 ч при температуре 900°C . В работе [46] отмечена неоднородность покрытия ОК: агрегация кристаллов и трещины. Структура плазменно-напыленных покрытий ОК более однородна, и эмиссионная однородность таких покрытий выше. Обнаружено [47], что если процесс обработки ОК проходит при высоком давлении CO_2 , то в катоде снижается содержание бария и, как следствие, уменьшается ток эмиссии. Наконец, в некоторых работах исследуется и срок службы ОК. В работах [48,49] описывается ОК с покрытием размером 50×50 мкм, толщиной 5...8 мкм. При температуре 810°C и плотности эмиссии 2 A/cm^2 срок службы катода составил 17 000 ч. В работе [50] показано, что высокоомная прослойка

в ОК может образовываться в результате испарения SiO_2 из алундово-го покрытия, попадания SiO_2 в керн и диффузии в керне. В работе [51] на конкретном примере показано, что эффективность введения циркония в керн ОК зависит от толщины керна. В [52] получен срок службы более 10^5 ч при рабочей температуре катода 630°C и токоотборе $0,5 \text{ A/cm}^2$.

В плане работ по новым технологиям можно указать на патенты [53,54] и работы [55,56]. В [53,54] предложено часть поверхности керна, не покрытую оксидом, защищать от испарения активатора диффузионным барьером. Поток активатора в покрытие ОК в этом случае увеличивается, а вместе с этим увеличивается и срок службы (по-видимому, лишь в недостаточно хороших вакуумных условиях). Заметим, что такой же метод увеличения потока (защита от испарения с нерабочих поверхностей) был применен для металлопористого катода и может быть использован по отношению к металлосплавному катоду. Интересное новое направление разрабатывается в [55,56]. Введение в обычное покрытие ОК $3...5\%$ Sc_2O_3 увеличивает срок службы с 2000 до 10 000 ч (спад эмиссии - 20 %) при максимальном токоотборе 2 A/cm^2 и среднем по поверхности - $0,7 \text{ A/cm}^2$. Положительное действие скандия состоит, согласно [55,57], в связывании кремния. ОК, содержащий в покрытии скандий или другой редкоземельный металл (РЗМ), предложен в [58]. Новый метод повышения токоотбора предложен в [59]. Метод состоит в том, что ток отбирается последовательными импульсами с разных участков покрытия. Показано, что ОК на основе оксалатов щелочно-земельных металлов (ЩЗМ) имеет более высокую плотность эмиссии ($0,1 \text{ A/cm}^2$ при температуре 550°C), чем стандартный ОК [60].

В плане разработки теории ОК выполнены следующие работы. Выполнен расчет работы выхода [61] и получены зависимости работы выхода от температуры и объемной концентрации вакансий. В [62] рассмотрен механизм воздействия ионизирующих излучений на ОК и предложен метод выбора режима воздействия для улучшения свойств катода. В [63] рассмотрена холодная эмиссия из ОК и сделан вывод, что электроны эмитируются из поверхностной зоны. В [64] дан расчет оптимальной (с точки зрения максимума срока службы) толщины покрытия ОК при нагреве его импульсным электромагнитным излучением со стороны вакуума. Плотность эмиссии при нагреве ОК этим способом составила 60 A/cm^2 [65]. В [66] дан расчет эмиссии с пористого покрытия ОК при разогреве его током и определена зависимость проводимости и, следовательно, степени разогрева от плотности по-

крытия. В [67,68] предложена полупроводниковая модель окислов, позволяющая вычислить ток эмиссии и скорость испарения окислов. В работе [69] обосновано существование поверхностной зоны проводимости. В [70] предложен метод построения моделей процессов на поверхностях материалов, в том числе на поверхности ОК, позволяющий по интенсивностям элементарных процессов определить структуру поверхности. В [71] этот метод использован для анализа процессов отравления ОК. В работе [72] найдено распределение электрического поля в покрытии ОК. Оказалось, что поле неоднородно, а в некоторых режимах в поверхностных слоях покрытия оно может менять знак. В [73] предложена модель, объясняющая изменение свойств оксида при электронной бомбардировке. Связь работы выхода ОК и ее температурного коэффициента исследована в [74,75]. В работе [76] предложен новый бистабильный схемный элемент, в основу работы которого заложено явление теплового пробоя в ОК.

Какие задачи в области физики и техники ОК можно отметить как нерешенные? На важном направлении - миниатюризации - это обеспечение срока службы при малых размерах катода. Известно, что с уменьшением площади покрытия срок службы ОК уменьшается [77], а скорость испарения веществ возрастает [78]. Заметим, что в некоторых случаях ОК с малой площадью и тонким покрытием [48,49,79] имеют нормальный срок службы.

На другом важном направлении - увеличении плотности эмиссионного тока, отбираемого в стационарном режиме, существует проблема повышения электропроводности покрытия. Введение в покрытие ОК все больших количеств металла привело к созданию губчатого оксидно-никелевого катода. Основное отличие этого катода состоит в том, что оксид размещен в порах губки, а эмитирующая структура образуется не только за счет разложения кристаллов карбонатов, как в ОК, но и за счет последующей диффузии элементов на поверхность губки и по этой поверхности. Толщина слоя кристаллов, нарастающих на губке, такова, что при большом токоотборе катод преимуществ перед ОК не имеет. Большой запас активного вещества создает преимущество по сроку службы при высоких температурах, т.е. в плохом вакууме. Из задач, относящихся к этому катоду, надо отметить исследование миграции всех элементов по губке с целью выбора оптимальных размеров частиц губки для увеличения эмиссии и уменьшения эмиссионной неоднородности.

Что же касается введения металла в собственно ОК, то низкоомная структура в ОК может быть создана разными методами. Во-пер-

вых, представляет интерес "проращивание" металлом пор готового покрытия - гальванически или посредством газотранспортной реакции. Во-вторых, карбонат или оксид могут быть введены в поры уже изготовленной структуры, но в этом случае трудно совместить требования малого шага структуры (менее 10 мкм - иначе нет выигрыша в сопротивлении покрытия) и большого запаса оксида (иначе нет выигрыша в сроке службы). В-третьих, низкоомную структуру можно создать в процессе изготовления покрытия. Расчет параметров катода, представляющего собой чередующиеся слои металла и оксида, расположенные нормально к эмитирующей поверхности, дан в [80]. Однако такая структура неудобна технологически, особенно для катодов большой площади. Поэтому представляет интерес изготовление подобной, но планарной структуры, причем с помощью пленочной технологии. Предлагалось, например, напыление поверх ОК тонкой и мелкоструктурной сетки (соединенной с керном), а поверх нее - дополнительного слоя оксида [72] аналогично [81], где поверх ОК укладывалась проволочная сетка. Параметры напыленной сетки должны определяться так же, как параметры структуры [80].

Применению ОК в газоразрядных приборах (ГРП) посвящены работы [82-84]. В частности, предложено тренировать катод микродуговыми разрядами [82] и добавлять ZrO_2 , BeO [84].

2. МЕТАЛЛОПОРИСТЫЕ КАТОДЫ

В области усовершенствования классических технологий производства металлопористых катодов (МПК) выполнены следующие работы. В [85] в качестве губки использован жгут диаметром 0,3...1 мм, свитый из вольфрамовой или молибденовой проволоки диаметром 40 мкм. Такой катод работает с токоотбором 1...2 А/см² при температуре 1100 °С. В [86] предложено подвергать поверхность МПК пескоструйной обработке вместо шлифовки, чтобы поры не затирались. В работе [87] рассмотрены методы измерения и стабилизации пористости вольфрамовых губок.

Структуры металлопористого и металлопористого осмированного катодов, изготовленных по классическим технологиям, до и после активирования и после прогрева исследованы в [88,89]. Попытки применения для исследований МПК спектроскопии комбинационного рассеивания сделаны в [90-92]. Эти работы носят методический характер. В [90] исследованы спектры комбинационного рассеивания катодов, пропитанных алюминатами 5-3-2* и 4-I-I, и обнаружено непостоянство

*Запись x-y-z означает алюминат состава $(BaO)_x(CaO)_y(Al_2O_3)_z$.

состава от точки к точке: есть зоны с преобладанием окиси вольфрама, а есть — со значительным количеством вольфрамата бария.

Обнаружено, что состав активного вещества при работе катода изменяется с 5-3-2 до 5,2-2,3-2,5, т.е. происходит потеря кальция из покрытия, и не обнаружено образование вольфрамов [93]. У МПК, пропитанного алюминатом состава 3-I-I, срок службы в 2...2,5 раза больше, чем у МПК с алюминатом 3-0,5-I [94].

Измерения функции распределения поверхности по работе выхода и концентрации бария на поверхности в течение срока службы катода с губкой вольфрам-осмий сделаны в [95], для катодов с губкой рений-иридий-вольфрам, осмий-иридий-вольфрам — в [96].

В исследованиях состава МПК на монослойном уровне можно выделить три направления. Во-первых, исследование процесса очистки катода от загрязнений. Большинство этих исследований выполнено методом Оже-спектроскопии. Так, в [97] определено, что углерод покидает поверхность МПК при температуре 1000 °C; в [98] показано, что углерод покидает поверхность МПК при 930 °C, катода с губкой вольфрам-рений при 1000 °C, катода с губкой вольфрам-осмий при 1050 °C. По данным [99], очистка катода без пленки и с пленкой из осмия от углерода, серы и фосфора происходит при температурах 800...900 °C, 1100...1200 °C, 1100 °C соответственно. Разумеется, эти данные зависят от длительности нагрева, состава среды в приборе и чувствительности методики. Очистка от серы и углерода при нагреве в вакууме исследована в [100]. Во-вторых, исследование содержания бария, кислорода, вольфрама и прочих основных компонентов на поверхности МПК. Так, в [97] обнаружено, что на катоде с пленочным покрытием вольфрам-осмий бария в 1,5 раза меньше, чем на катоде без пленки, и меньше кислорода. В [96, 101] показано, что отношение содержаний кислорода и бария по мере подъема температуры в катодах с губками вольфрам-рений и вольфрам-осмий изменяется немонотонно: при температуре 720...820 °C оно падает до 1 и лишь при 930...1040 °C растет. У катода с губкой из вольфрама отношение содержаний кислорода и бария стабильно и равно 2. В [102] сравниваются различные металлопористые катоды. Количество бария на поверхности МПК увеличивается, если вместо вольфрамовой губки использовать вольфрамениевую, а также при нанесении пленки осмий-иридий-алюминий. Увеличение концентрации кальция на поверхности катода уменьшает эмиссию [103]. В третьем направлении — исследование равновесия монослой-кристаллы — новых работ не опубликовано. Связано это со сложностью применения сочетания методов, анализиру-

ющих такие структуры. Формирование собственно кристаллитов BaS исследовано в [104,105]. Утверждается, что кристаллиты существуют до температуры 1100 °C [106]. В [31,107] дан обзор методик исследования поверхности материалов в применении к термокатодам и отмечено, что достигнутые в этом направлении успехи пока невелики.

Наконец, в плане исследования свойств катодов, изготовленных по классическим технологиям, в [108] определена функция распределения площади катода по работе выхода. Функция оказалась бимодальной с максимумами в точках 1,75 и 1,9 эВ, причем за 15 000 ч срока службы при температуре 1100 °C максимум с точки 1,9 эВ сместился на 2,0 эВ. Там же рассмотрены возможные механизмы деградации катода. Работа многолучевого металлопористого катода в неоднородном поле (на краях - насыщение) исследована в [109], стабильность тока эмиссии при многократных включениях - в [110].

К новым технологиям можно (конечно, такое деление в некоторой степени условно) отнести нанесение на катод комбинированных пленок вольфрам-осмий [111] и вольфрам-окись скандия [112-117]. Параметры соответствующих катодов приведены в общей таблице далее. Улучшение эмиссионных параметров у катода с пленкой вольфрам-окись скандия (получена плотность эмиссии 5 А/см² при температуре 800 °C против 900 °C у катода с пленкой из осмия и 1000 °C у катода без пленки) относят за счет образования на поверхности монослоя барий-скандий-кислород. Оптимальная концентрация Sc₂O₃ в пленке - 4 %. Роль скандия пока не вполне ясна. Толщина пленки - 0,05...0,4 мкм [112]. Работа выхода такого катода - 1,2 эВ [118]. По данным [119], состав поверхностного слоя катода с пленочным покрытием вольфрам-окись скандия существенно отличается: Ba - 7 %, O - 40 %, W - 23 %, Sc - 8 %, Al - 22 % против Ba - 16 %, O - 31 %, W - 53 % для катода без пленки и Ba - 11 %, O - 16 %, W - 42 %, Os - 18 %, Ru - 13 % для катода с пленкой осмий-рутенией. Заметим, что, согласно [97], на катоде с пленкой вольфрам-осмий концентрация бария тоже в 1,5 раза меньше. Зависимость состава поверхностного слоя от времени и давления остаточных газов исследована в [117]. Рабочая температура катода с пленкой окиси скандия на 100 ° ниже, чем у катода с пленкой осмия [120]. Рентгеновские спектры МПК с пленкой вольфрам-окись скандия и зависимость эмиссии от степени окисления изучены в [121]. Показано, что оптимальная концентрация осмия в пленке вольфрам-осмий составляет 55 % [111]. Спад эмиссии связан со спеканием губки в процессе эксплуатации [122,106] (возможно, что присадка окиси скандия тормозит процесс).

В плане новых технологий предложено добавлять в губку МПК окись тория [123]. Предложено напылять осмий на вольфрамовую губку, а затем прогревом при температуре 1900 °С "разгонять" осмий по поверхностным слоям губки [124]. Предложено обрабатывать МПК в газовом разряде, при этом из-за роста шероховатости уменьшается на 0,1...0,2 эВ работа выхода и увеличивается в 1,5...2 раза вторичная эмиссия [125]. При обработке в высоком вакууме можно уменьшить температуру обработки металлопористого катода [126].

К МПК, изготовленным по новой технологии, может быть отнесен СДР-катод (controlled porosity dispenser) [127], в котором активное вещество напыляется на фольгу из тугоплавкого металла с регулярно расположенными отверстиями или прорезями. Исследовано образование кристаллитов в таких структурах [128]. Технологически сложным является изготовление вольфрамовой фольги с часто расположенными маленькими отверстиями. В работе [129] предложено проделывать отверстия диаметром 20 мкм со скоростью 100 мкм/ч травлением в SF_3 при бомбардировке ионами ксенона с энергией 1,5 кэВ. В работе [130] исследована зависимость работы выхода СДР-катода с подложкой вольфрам-иридий или вольфрам-рений от концентрации иридия и рения. Оптимальная концентрация иридия и рения - 50 %, при этом работа выхода на 0,15 эВ меньше, чем на чистом вольфраме. Различия концентраций бария и кислорода на подложках из вольфрама, вольфрам-рения и вольфрам-иридия незначительны. В ГРП предложено использовать композит тугоплавкий металл-скандат бария [131]. Предложено на поверхность МПК наносить пленку молибден-вольфрам с отверстиями, а поверх нее - пленку вольфрам-окись скандия, вольфрам-осмий, вольфрам-иридий [132].

Параметры МПК, изготовленных по обычным и новым технологиям, даны в таблице.

Особенности МПК		Рабочая температура, °С	Плотность тока, А/см ²	Срок службы, тыс. ч	Источник информации
Материал губки	Материал пленки				
-	-	1000	5	-	[133]
-	-	1100	15	-	
-	-	1100	4	2	[134]
-	-	-	8,5	-	[135]
			(30 мкс, 1300 Гц)		

Особенности МПК		Рабочая температура, °C	Плотность тока, А/см ²	Срок службы, тыс. ч	Источник информации
Материал губки	Материал пленки				
		I300	-	0,3	[I36]
		-	0,76	60	[I37]
		-	2	120	[I38]
		II30	I	70	[I39]
		I040	0,7	I30	[I40]
		I040	2	I00	
		II20	2	10	
		II30	10	10	[I41]
-	Os	I000	0,75	80	[I42]
		-	15	15	[I43]
		970	0,8	100	[I44]
		I040	2	100	[I45]
		-	0,4	100	[I46]
		-	2	60	
		-	4	30	
		I080	40 (6 мкс, 100 Гц)	-	[I47]
		I060	10	8	
		960	0,8	200	
-	Os	II40	2,5	5	[I48]
		I240	2,5	0,4	
		I340	2,5	0,03	
		920	0,8	150	[I49]
		I000	2,5	-	
		I000	10	100	[I50]
		-	10	10	[I51]
-	Ir	-	4	120	[I38]
		I300	-	2	[I36]
		I000	2	80	[I52]
		I050	4	5	[I53]
		I400	-	0,3	[I54]
		I260	-	3	
WOs	Os	-	3,4	10	[I55]
		I040	4	100	[I45]

Особенности МПК		Рабочая температура, °C	Плотность тока, А/см ²	Срок службы, тыс. ч	Источник информации
Материал губки	Материал пленки				
-	-	800	5	-	[I56]
		900	40	-	
	(пропитка BaSc)	I050	5	7	
		I050	7	4	
		II30	40	-	[III]
			(2 мкс, I00 Гц)		
-	W0s	II30	-	I,5	[I57]
		I200	28	0,3	
			(2 мкс)		
		730	2	-	[II2, II3, I58]
-	W + Sc ₂ O ₃	830	I0	-	
		950	I,4	40	[II4]
		950	I00	-	
			(5 мкс)		

Примечание. В скобках указаны параметры импульсного режима.

В дополнение к таблице укажем на сообщение [I59] о получении с катода на "двойном или тройном сплаве" плотности эмиссии 50...I00 А/см² при температуре II50 °C. "Тройной сплав" упоминается и в [I08]. Данные таблицы приведены также на рис. I-3 для выявления тенденции. Видно, что основное направление - уменьшение рабочей температуры при сохранении токоотбора и увеличении срока службы.

Наконец, отметим обзоры по МПК: обзор патентов [I60], краткие обзорные сообщения [I6I, I62], подробный обзор всех известных вариантов МПК и их эмиссионных свойств [23, I63], обзор работ по механизму действия катода [I64], весьма содержательный обзор механизмов работы, параметров всех типов МПК [I65].

Измерение скорости испарения активного вещества с поверхности МПК позволяет с некоторой степенью надежности прогнозировать срок службы катода. Кроме того, испарение влияет на утечки и на электропрочность ЭВП. В работе [89] измерена скорость испарения: для катода с активным веществом 5-3-2 она составила $2 \cdot 10^{-11}$ -

$2 \cdot 10^{-10}$ г/см²с, а для катода 4-I-I - на I порядок больше. Скорость испарения изменяется обратно пропорционально квадрату времени работы катода [166], зависимость поверхностной концентрации бария от скорости испарения имеет логарифмический характер. В первые 100 ч работы катода с пленкой иридия скорость испарения вдвое меньше, а с пленкой осмия - вдвое больше, чем без нее. В дальнейшем разница сглаживается и для 500...5000 ч работы при температуре 1000 °C скорость испарения составляет $(3 \dots 1) \cdot 10^{-10}$ г/см²с [167]. По мнению авторов [168], срок службы катодов в ГРП ограничен в связи с отравлением поверхности, наступающим при уменьшении потока диффузанта. Катод с плазменно-напыленной плотной губкой имеет малую - $3 \cdot 10^{-11}$ г/см²с при 1100 °C - скорость испарения [169].

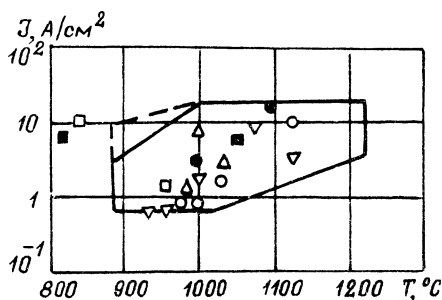


Рис. 1. Зависимость плотности отбираемого тока J в статическом режиме с МПК от рабочей температуры T (здесь, а также на рис. 2 и 3 контур - данные обзоров, предшествующих [4]; пунктирный контур - расширение за счет обзора [4]; точки - данные таблицы):

● - обычный катод; ○ - с пленочным покрытием из осмия или осмия с вольфрамом; ▽ - с пленочным покрытием из иридия; △ - с губкой из осмия с вольфрамом; ■ - с активным веществом, содержащим скандий; □ - с пленочным покрытием из вольфрама и окиси скандия

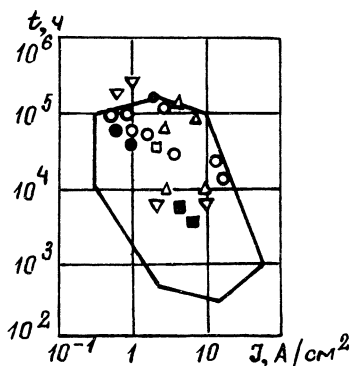


Рис. 2. Зависимость срока службы МПК t от плотности отбираемого тока в статическом режиме J

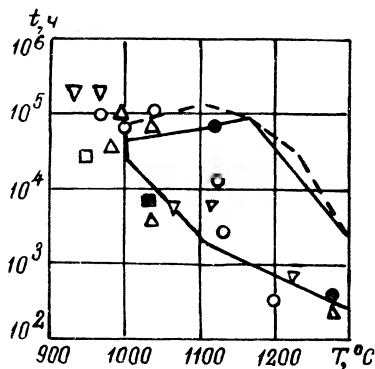


Рис. 3. Зависимость срока службы МПК t от рабочей температуры T

Во многих случаях возможность применения МПК определяется его взаимодействием с окружающей средой. В работе [45] исследовано отравление МПК германием. Показано, что пленка германия толщиной 0,1...0,2 мкм увеличивает работу выхода на 0,2 эВ и эмиссия не восстанавливается в течение 50 ч при температуре 1100 °С. В работе [114] определено, что спад эмиссии у катода с пленкой вольфрам-окись скандия при бомбардировке ионами аргона с энергией 1,5 кэВ в 2 раза больше, чем у катода с пленкой осмия. В работе [170] изучена реактивация металлопористого катода после отравления влагой. Катод с активным веществом 5-3-2 восстанавливает при температуре 1000 °С свои эмиссионные свойства на 90 % после экспозиции, эквивалентной сорбции 0,1 монослоя при 20 °С, за 40 с. При экспозиции, эквивалентной сорбции 0,3 и 1 монослоя, время восстановления – 80 и 120 с. При температуре 1100 °С эмиссионные свойства катода восстанавливаются на 90 % после экспозиции, эквивалентной сорбции 10 монослоев при 20 °С, за 15 с. При экспозиции, эквивалентной сорбции 30...100 монослоев, время восстановления составляет 20...25 с. Сорбция проводилась при 20 °С. Катод с активным веществом 4-1-1 восстанавливается примерно в 30 раз быстрее. Если сорбция проводится при температуре более 20 °С восстановление происходит медленнее. В работе [171] показано, что для катода с пленкой осмий-иридий при температуре 1000...1150 °С допустимое давление H_2 – до 0,5 Па; предполагается, что "отравление" H_2 могло быть связано с наличием примеси воды. Для катода с пленкой иридия при температуре 800...1400 °С допустимые давления следующие: H_2O – (0,6...2,6)·10⁻¹ Па, O_2 – вдвое меньшее; для катода с пленкой осмия допустимые давления больше в 10 раз [172]. Для МПК при 1100 °С допустимые давления CO_2 и O_2 составляют 5·10⁻⁴ и 5·10⁻³ Па соответственно и зависят от пористости губки [173].

В работе [174] упомянуто применение металлопористого катода диаметром 3,5 мм с мощностью накала 5 Вт (тепловые потери – 80 %, средние для этого размера) и сроком службы 10 000 ч. В работе [175] показано, что, нагревая катод со стороны эмитирующей поверхности излучением лазера, можно получить эмиссию до 40 А/см².

При работе в водородном тиратроне с токоотбором 100 А/см² при длительности импульса 1 мкс срок службы МПК больше, чем у ОК [176]. Исследовалась работа полых катодов WZrC, WReY, ReY, LaB₆ и металлопористого при дуговом разряде в Ar и Xe (ток разряда до 500 А, напряжение до 50 В, плотность тока эмиссии 250 А/см²); оказалось, что менее всего подвержен эрозии МПК [177].

Основную часть работ, посвященных разработке теории металло-пористого катода, составляют экспериментальные работы по исследованию монослойных пленок бария и кислорода на различных подложках. В частности, в работе [178] исследованы пленки окиси бария на сплаве рутений-ниобий. Наблюдается пологий минимум работы выхода (1,8 эВ) при концентрации ниобия 20...50 %. Поскольку концентрации бария и кислорода изменяются монотонно, высказывается мнение, что барий избирательно сорбируется на рутении, а кислород на ниобии. Катоды, покрытые ниобием или платиной, изучены в [179]. По мнению авторов, покрытие поверхности катода платиной увеличивает работу выхода на 0,1 эВ, поскольку платина растворяет барий, а покрытие ниобием увеличивает работу выхода на 0,3 эВ, так как ниобий окисляется. Оже-спектры пленок окиси бария, близких к монослойным, на подложках из вольфрама, ниобия, иридия, родия, никеля и пленок бария и кислорода на ниобии и родии изучены в [180]. Уточнению представлений о структуре пленок кислорода и бария на вольфраме посвящены работы [181-188], при взаимодействии с O_2 , CO_2 , H_2O - [189].

В литературе высказываются разные предположения о структуре пленок бария и кислорода на вольфраме. В [97] указано, что на подложке из осмия барий создает при сорбции больший дипольный момент, чем на подложке из вольфрама, а в [190] приведена конкретная модель, обладающая этим свойством: при сорбции на окисленном осмии барий связан с двумя атомами кислорода, а на окисленном вольфраме - с одним атомом кислорода. В [191] исследовано распределение по размерам частиц в островковых пленках окиси бария. Данные по структуре поверхности МПК приведены в [192]. Наличие на поверхности агломератов кристаллов BaO и CaO показано в [193].

В работе [194] изучено испарение пленок окиси бария с поверхностей вольфрама и молибдена. Указывается на образование островковых структур и на сильную зависимость скорости испарения пленки BaO от типа грани: так, для вольфрама (110) скорость испарения в 1000 раз меньше, чем для вольфрама (100). Работа выхода в процессе десорбции бария с окисленных вольфрама и осмия определялась в [195]. Показано, что с осмия 10 % бария испаряется в виде окиси бария. С поверхности, загрязненной серой, десорбция идет в 2 раза быстрее.

В работах [196,197] изучена структура монослойных (1...3 моно-слоя) пленок окиси бария на вольфраме. Уже при температуре 200...300 °C молекулы второго монослоя стягиваются в кристаллы, образуя первый монослой. При нагреве до испарения монослоя его покидают сначала барий, а потом кислород, причем перед испарением атомы

кислорода стягиваются в монослойные островки и часть вольфрама оголяется.

Теоретические модели поверхности ПНК разрабатываются в [198, 199]. В [199] построена диаграмма состояний поверхности катода, показывающая, какова структура поверхности в зависимости от давления паров бария и кислорода. По мнению авторов, система W-O-Ba реализуется при средних давлениях бария и кислорода, при больших — образуются кристаллы алюмината и вольфрама, при малых — чистый вольфрам или пленочные системы вольфрам-кислород и вольфрам-барий. В [198] построена модель, учитывающая миграцию и испарение бария.

3. МЕТАЛЛОСПЛАВНЫЕ КАТОДЫ

В области металлосплавных катодов сделана попытка построения модели, позволяющей вычислить срок службы катода Ir-Ce [200]. Утверждается, что скорость испарения церия зависит от скорости его диффузии через объем и скорости его десорбции с поверхности. Согласно [201], лимитирующей стадией является диффузия церия через объем иридия, содержащий поры после ухода церия. Получен срок службы 500 ч при рабочей температуре катода 1830 °C. В работе [202] изучены работа выхода, скорость испарения церия, состав поверхности и структура сплавов Ir-Ce-Me, где Me — гафний, вольфрам, рений, осмий. Указано, что все эти катоды являются пленочными. В работе [203] исследован катод Ir-La, полученный диффузионным насыщением иридия в расплавленной соли лантана. Показано, что после ухода лантана остается пористый слой иридия (аналогично катоду Ir-Ce [200]), однако дефектность слоя столь велика, что скорость испарения лантана определяется скоростью распада интерметаллида. Дан расчет долговечности катодов Ir-Ta, Mo, W, Re-Ce [204]. Для катодов Ir-La-Ce и Ir-мишметалл^{*}, изготовленных путем насыщения в расплаве соли, получен срок службы при рабочей температуре 1600 °C свыше 400 ч и около 2000 ч соответственно [205].

Катоды Ir-La диаметром 50 и 120 мм с мощностью накала I, I и 8,2 кВт эксплуатировались в ускорителе [206], где работали стабильнее и были более долговечны, чем LaW₆-катод.

Состав поверхности и эмиссия катода из сплава Pt-Ba при термообработке в водороде и вакууме исследованы в [207]. Эмиссии вольфрама и сплава Pd-Ba, ионолегированных барием, исследованы в [208].

^{*}Сплав редкоземельных металлов, получаемый из их общих руд.

Метод построения моделей процессов на поверхности пленочных катодов предложен в [70,209]. Метод позволяет определять состояние поверхности катода, если известны потоки приходящих на нее веществ и скорости испарения.

К нерешенным задачам в области металлосплавных катодов можно отнести управление свойствами катодов путем введения третьего металла. Считается, что третий металл ускоряет разложение фазы Ir-РЗМ [210] и поэтому увеличивает поток РЗМ и устойчивость катода к отравлению. Возможно, что следует учитывать влияние третьего металла на диффузию и скорость десорбции (через состав поверхности).

Заметим, что функции иридия как оптимального материала подложки для РЗМ и диффузионного барьера, регулирующего поток РЗМ, приходящего на подложку, вообще можно разделить и, управляя независимо потоком РЗМ, создавать катоды, оптимальные для данных вакуумных условий.

Например, можно на высокотемпературное соединение, содержащее РЗМ (La_2C , La_2O_3 , LaB_6), нанести слой, управляющий потоком РЗМ, а затем нанести оптимальную подложку для монослоя РЗМ. В качестве этой подложки следует применять иридий.

4. LaB_6 -КАТОДЫ

Значительное количество работ выполнено по LaB_6 -катадам — основным катодам, применяющимся в плохих вакуумных условиях.

Начнем с данных по собственно LaB_6 . Работа выхода грани (100) при температуре 1350 °C составляет 2,9 эВ [211]. Авторы этой работы проанализировали также возможность применения монокристаллов LaB_6 в качестве электродов ТЭП [212]. Модель расположения атомов на гранях (001) (011) (111) (012) LaB_6 уточнена в [213]. В работе [214] измерена при температуре 500...900 °C работа выхода граней LaB_6 : для грани (100) она составила 2,5 эВ, для (110) — 2,7 эВ, для (111), (123), (135) — 2,9 эВ. Показано также, что для стабилизации параметров нужен отжиг при давлении 10^{-6} Па и температуре 1550 °C в течение 2,5 ч. В работе [215] приведены данные для грани (310) — 2,4 эВ при 1430 °C — и обращено внимание на то, что скорость испарения LaB_6 при температуре, необходимой для отбора тока 1...10 А/см², меньше, чем для металлопористого осмированного катода, в 5–2 раза, хотя температура при этом выше примерно на 400 °C. В работе [216] измерено распределение по энергиям термо- и фотоэлектронов, эмитированных с грани (110), и показано, что распреде-

ление по энергиям термоэлектронов лучше всего аппроксимируется при электронной температуре, большей на 25 %, чем температура катода. В работе [217] изучен процесс испарения в сильном электрическом поле (полевого испарения) грани (100) LaB_6 в атмосфере H_2 при низких температурах.

Наконец, в [218] приведены зависимости электропроводности LaB_6 от пористости и температуры и показано, что сопротивление увеличивается в 4 раза при увеличении пористости от 5 до 60 % и в 6 раз при увеличении температуры от 20 до 1630 °С. Удельное сопротивление при пористости 5 % и температуре 1630 °С составляет $8 \cdot 10^{-5}$ Ом.см.

Высокая рабочая температура LaB_6 - катода затрудняет конструирование катодных узлов. Поэтому постоянно предпринимаются попытки создать на основе LaB_6 материал с меньшей работой выхода. С другой стороны, композит с LaB_6 может иметь большую стойкость к термоударам. Катод из LaB_6 с присадкой 20 % ZrB_2 имеет при температуре 1630 °С эмиссию 35 А/см² и срок службы более 100 ч [219]. Взаимодействие в системе $\text{LaB}_6\text{-MeB}_2$, где Me - вольфрам, ниобий, тантал, изучено в [220]. В качестве контактного материала к LaB_6 рекомендуются углерод, рений, карбид тантала [221].

Прямонакальный LaB_6 - катод для электронного микроскопа исследован в [222]. Получен срок службы 200 ч при температуре острия 1600 °С, плотность тока на вершине составила 10...15 А/см², радиус острия - 20 мкм, мощность накала - 5...7 Вт. Приводятся электронно-оптические параметры и распределение поля.

В работе [223] подробно описан торцевой 10-мм LaB_6 - катод с электронным накалом и сроком службы 40 ч при рабочей температуре 1850 °С (ожидаемый срок службы без перекала 500 ч). Тепловые параметры и данные по вибростойкости для этого катода приведены далее, в разд. 8.

Цилиндрический (коаксиальный) LaB_6 - катод диаметром около 6 мм и длиной около 20 мм описан в работе [224]. Его параметры: напряжение накала 6 В, ток накала 40 А; в качестве контактных материалов к LaB_6 использованы рений (как проводник) и нитрид бора (как изолятор). Рассмотрен также конусный (диаметр от 15 до 25 мм) коаксиальный катод. В работе [225] в качестве контактного материала к сильноточному (ток эмиссии 175 А при плотности 140 А/см²) прямонакальному LaB_6 - катоду применен углерод.

Традиционной областью поиска катодных материалов являются материалы La-P3M-B_6 . Данных по эмиссии этих материалов мало, а

по испарению и сроку службы вообще нет. Новые данные появились по $\text{Nd}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{B}_6$: для грани (100) работа выхода составляет 2,8 эВ при температуре 900...1300 °C [226]. Кристаллы LaB_6 , полученные бес-тигельной зонной плавкой, исследованы в [227]. Технологии получения чистых боридов РЗМ посвящена работа [228].

Ряд работ посвящен композитам гексаборид-металл, в частности тонким пленкам гексаборидов на металлических подложках. Так, в [229,230] исследованы пленки CaB_6 , BaB_6 и DyB_6 , нанесенные либо непосредственно на молибден, либо через барьерные слои TiB_2 - TiC , TaC , ZrC . Наименьшая работа выхода (2,4 эВ при температуре 1300 °C) оказалась у системы BaB_6 - TiB_2 - TaC -Mo. Исследование состава и структуры композиции W-LaB_6 позволило предположить, что ее высокая эмиссия обусловлена системой W-O-La [231]. По мнению авторов [232], высокая термоэлектронная эмиссия пленки LaB_6 , нанесенной на тантал, молибден или вольфрам, обусловлена образованием моно-слоя лантана на LaB_6 . Пленки гексаборидов церия, празеодима, неодима, самария, европия, нанесенные на молибден через барьерные слои борида и карбида титана, циркония, исследованы в [233] и показано, что в этом случае работа выхода меньше, чем у толстых образцов, на 0,6...1,1 эВ и что она зависит от материала барьерного слоя. По данным [234], LaB_6 за 80 ч работы при температуре катода 1600 °C переходит в LaB_4 с падением эмиссии от 8 до 3 А/см². Состав поверхности и скорость испарения граней LaB_6 , CeB_6 , PrB_6 исследованы в [235]. При температуре 1560 °C переогранка острия (100) с падением эмиссии происходит за 3000 ч [236].

Поскольку LaB_6 -катоды применяются преимущественно в плохом вакууме, исследуется взаимодействие LaB_6 с газами. Так, в [237] исследовано окисление LaB_6 на воздухе при температуре до 1500 °C и установлено наличие на его поверхности окислов $\text{La}(\text{BO}_2)_3$, B_2O_3 , выше 670 °C - LaB_4 . При температуре выше 1200 °C B_2O_3 испаряется. В работе [238] показано, что при нагреве монокристалла LaB_6 на его грани (III), покрытой сорбированным слоем кислорода, концентрация лантана и бора стабилизируется при температуре 1600 °C, а работа выхода - при 1700 °C. При взаимодействии с кислородом поверхность, образованная гранью (III), засетируется гранями (100). В работе [239] исследован спад тока в течение импульса с характерным временем 0,5...1 мс; по мнению авторов, он связан с изменением концентрации избыточного лантана на поверхности. Зависимости скорости испарения LaB_6 от температуры и давления кислорода приведены в [240]. В области рабочих температур (1580...1680 °C) давление

кислорода, с которого начинается рост скорости испарения LaB_6 (через окисление лантана и бора), составляет $(2...7) \cdot 10^{-6}$ Па. При давлении O_2 более 10^{-6} Па при испарении происходит изменение структуры поверхности LaB_6 , поскольку плоскость (100) окисляется быстрее, чем (111), а (111) — быстрее, чем (110). Эмиссия LaB_6 падает при отравлении углеродом и кислородом, частичная очистка происходит при температуре 1300°C [241]. Влияние остаточной атмосферы на LaB_6 -катод не сводится только к окислению, существенна также ионная бомбардировка. Показано, что максимальная скорость распыления LaB_6 ионами аргона имеет место при энергиях 3 кэВ (для LaB_6 , полученного плавлением) и 7 кэВ (для LaB_6 , полученного прессованием). При температуре образца более 700°C скорость распыления возрастает и к 1000°C она увеличивается в 1,5 раза. Плоскости (110) и (111) распыляются в 1,5 и 2 раза меньше, чем плоскость (100) [242]. В работе [243] обнаружено свечение LaB_6 при бомбардировке его ионами водорода и гелия. Имплантация ионов кислорода в LaB_6 понижает работу выхода на $0,1...0,2$ эВ [244].

Ряд работ посвящен технологии LaB_6 . В работе [245] рассмотрен метод определения примесей меди, олова, хрома, магния, марганца, алюминия, титана, железа, кремния, кальция, циркония, гафния, тантала, углерода в LaB_6 . Показано, что очистка частиц LaB_6 от пленки La_2O_3 в кислоте уменьшает коррозию изделий из порошка LaB_6 в H_2O [246]. Диспергирование порошка LaB_6 ударной волной увеличивает количество мелкой фракции и, следовательно, уменьшает пористость изделий [247]. Обширный обзор (библиография в 150 наименований) проблем получения монокристаллов LaB_6 и свойств LaB_6 дан в [248]. Наконец, метод получения LaB_6 -пленок распылением в газовом разряде исследован в [249]. Приведены режимы распыления, данные рентгеноструктурного анализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

В плане создания конкретных узлов можно выделить два основных направления — конструирование катодов большой площади и поддержание эмиссии катодов при воздействии остаточной атмосферы, ионной бомбардировки и напылений из прибора. Причем о более высокой стойкости LaB_6 к вредным воздействиям можно говорить лишь условно, ибо она зависит от температуры.

Задача создания катодов большой площади заключается в основном в обеспечении термостойкости и рабочей температуры катода. Кроме того, изготовление крупных деталей из LaB_6 (а в литературе отмечалась необходимость в катодах площадью до 10^3 см^2 [250]) —

довольно сложный процесс. Поэтому ведется разработка технологии покрытий из LaB_6 на кернах из углерода с промежуточным слоем из TaB_2 [251], из молибдена с промежуточными слоями TiB_2 - W_2B_5 - W [252] и TiB_2 - W_2O_5 - W [253]. Применение графитовых кернов улучшает теплообмен между подогревателем и керном и уменьшает тепловые потери [254]. Вообще же, для LaB_6 -катодов диаметром 30...120 мм характерными являются тепловые потери 20...30 % [206].

Другой путь увеличения стойкости к термоциклам - использование композиционных катодов, в которых отдельные таблетки LaB_6 вмонтированы в графитовый керн [255,256]. Такой путь позволяет поднять первеанс. Возможно также применение масок. Этим методом с катода диаметром 30...50 мм был получен токоотбор 50 А/см^2 при длительности импульса 40 мкс [257]. Показано, что при термоциклировании монокристаллов концентрация дислокации в них уменьшается [258]. Оригинальное решение - монокристаллические LaB_6 -таблетки, вделанные в поликристаллический спеченный LaB_6 , используемый в качестве керна, предложено в [259]. Такой катод должен быть более устойчив к ионной бомбардировке и более экономичен, так как интегральный коэффициент излучения LaB_6 приблизительно равен 0,5 [259]. В работе [260] предложен композит - монокристаллы LaB_6 , спеченные с поликристаллической LaB_6 -матрицей, и указано, что в сплавы LaB_6 - MeB_2 (где Me - металл IV, V групп) диборид входит в виде нитевидных кристаллов. Наличие таких кристаллов может существенно влиять не только на эмиссию, но и на диффузию лантана.

Известно, что нагрев крупногабаритных LaB_6 -катодов до рабочих температур требует больших токов накала, а это бывает неудобно. Для решения проблемы применяют электронный накал. Так, в [261] катод диаметром 25 мм нагревался электронной бомбардировкой с прямонакального катода из торированного вольфрама, в [262] катод диаметром 30 мм - с прямонакального катода из вольфрама, в [263] катод $0,7 \times 0,7 \text{ мм}$ - с МПК. Недостатком электронного накала является сложная конструкция узлов и сложное управление. Для предельного упрощения конструкции узлов и увеличения срока службы разрабатываются прямонакальные LaB_6 -катоды. Так, в [264] описан катод с эмиттером в виде цилиндра из LaB_6 диаметром 11 мм, длиной 75 мм с толщиной стенки 0,8 мм. Токоподводы выполнены из тантала, прослойка - из рения и углерода (рением к LaB_6 , углеродом к танталу). При температуре катода 1550°C плотность тока эмиссии составляет 7 А/см^2 , ток и напряжение накала примерно 170 А и 4 В (экстраполяция от точки 1300°C , 130 А, 3 В). Конечно, удельное сопротивление и прочность

LaB_6 слишком малы, но, возможно, удастся создать материалы с большими прочностью и сопротивлением на основе композитов, например, с углеродом. Показано, что в качестве нагревателей LaB_6 -катода эффективно применение углеродных композиционных нагревателей [265].

В плане обеспечения работоспособности LaB_6 -катодов в условиях отравления, бомбардировки и напылений выполнены следующие работы. В [266] обнаружен перенос молибдена с анода на катод. При этом возникает эмиссионная неоднородность на катоде (увеличение наклона прямых Шотки), но эмиссия увеличивается. Возможно, это происходит из-за восстановления лантана. В работе [267] измерением эмиссии на коротких (2 мкс) и длинных (1,5 мс) импульсах сделана попытка разделения воздействий отравления и бомбардировки. Показано, что при температуре 1500 °C отравляющее давление воздуха - $3 \cdot 10^{-3}$ Па. В работе [268] показано, что скорость распыления LaB_6 при ионной бомбардировке уменьшается с уменьшением пористости.

Распространенной областью применения LaB_6 -катодов являются острийные термокатоды для электронных микроскопов и технологических установок. Обзор данных по этим катодам (работа выхода граней, форма кроссовера, электронная яркость) дан в [269]. Интересный вариант LaB_6 -катода рассмотрен в [270]: для уменьшения испарения неэмитирующая поверхность покрыта углеродом. Такой катод диаметром 50 мкм обеспечивал при температуре 1500 °C плотность тока 10 А/см², а при 1600 °C срок его службы составил более 800 ч. Кристалл LaB_6 нагревался пропусканием тока через проволоку, в которую был вмонтирован; эмиссионная поверхность была образована гранью (100). Сравнение работы катодов LaB_6 и прессованного оксидно-никелевого проведено в [271]. Выбраны материалы анода: молибден для LaB_6 -катода, никель для оксидно-никелевого катода.

Обзор патентов по LaB_6 -катадам дан в [272]. В [273] приведен в систему большой массив данных, накопленных за время развития LaB_6 -катода.

К наиболее насущным нерешенным задачам по LaB_6 -катадам можно отнести следующие. Во-первых, недостаточно изучено влияние напылений на катод, а в реальных условиях эксплуатации именно это влияние часто определяет работоспособность катода. С технической точки зрения вопрос заключается в выборе оптимального материала электрода, "пылящего" на катод. Во-вторых, необходимо исследовать влияние бомбардировки и отравления, в том числе на микроструктуру поверхности. Влияние, например, может быть различным для разных марок гексаборида. В-третьих, есть противоречивые данные о взаимодействии

вии LaB_6 с конструкционными материалами. В-четвертых, существует проблема нагрева LaB_6 -катодов. Продвижение за последние годы есть, но оно произошло в результате применения углеродных композитов, которые сами изучены недостаточно. И наконец, в-пятых, плохо изучены соединения на основе LaB_6 , например смешанные бориды. По этим соединениям есть некоторые данные, но их очень мало. Кроме того, возможно нахождение материалов с большей эмиссией, чем у LaB_6 .

LaB_6 -катоды широко применяют в газоразрядных приборах. Например, LaB_6 -катод с эмитирующей поверхностью 11×2 см эксплуатируется с плотностью тока 10 А/см^2 при давлении H_2 $0,1 \dots 0,6 \text{ Па}$ [274]. Порошок LaB_6 используется для обеспечения зажигания разряда в полом катоде [275]. Присадка LaB_6 уменьшает эрозию медного электрода разрядника [276, 277]. Показано, что LaB_6 распыляется меньше, чем вольфрам, молибден, а также вольфрам и молибден с окисными добавками [278, 279]. В работе [280] описано применение пленочного ($5 \dots 10 \text{ мкм}$) LaB_6 -катода в плазменном дисплее. В работе [281] описан спеченный катод LaB_6 -стекло, используемый в ГРП в качестве холодного катода.

Одно из возможных применений LaB_6 связано с термоэмиссионными преобразователями. С этой целью исследуются структура кислородно-цезиевых покрытий на грани (III) LaB_6 и работа выхода, причем показано, что максимальное уменьшение работы выхода составляет $1,4 \text{ эВ}$ [282]. Структура пленок цезия на LaB_6 при низких температурах и различных концентрациях цезия на поверхности изучена в [283]. Для дуговых катодов разрабатывается композиционный материал вольфрам-медь-гексаборид лантана. Разрушение этого материала происходит в несколько раз медленнее, чем вольфрама [284, 285]. Разряд происходит в парах лантана, одновременно лантан напыляется на поверхность в виде La_2O_3 , что поддерживает псевдодиффузионный разряд, — это и снижает эрозию [286].

В целом публикации по основным катодам газоразрядных приборов делятся ориентировочно так: металл-оксиды — 30 %, LaB_6 — 20 %, остальное — примерно поровну между катодами из смеси металла с LaB_6 , катодами из чистого металла и катодами на основе алюмосиликата цезия.

5. ПРОЧИЕ ТИПЫ ТЕРМОКАТОДОВ

По катодам других типов количество публикаций меньше, чем по основным.

По высокотемпературным оксидным катодам получены следующие данные. У катода $Y_2O_3-La_2O_3$ на молибденовом керне активирование связано как с изменениями на поверхности, так и в объеме, и очистка от примесей углерода и хлора происходит при температурах 1200 и 1350 °C соответственно. Очистка от серы, поступающей из керна, происходит после 100 ч прогрева при температуре 1400 °C [287, 288]. Показано, что с ростом содержания рения в катоде Y_2O_3-Re падает вторичная эмиссия, но растут работа выхода и стойкость к бомбардировке и ускоряются процессы, происходящие при хранении на воздухе [289]. Исследовано взаимодействие вольфрама с Y_2O_3 [290]. В работе [291] исследованы процессы активирования и отравления катодов $Y_2O_3-La_2O_3$. В [292] собраны результаты ряда работ по катодам Y_2O_3 и $Y_2O_3-ZrO_2$.

В области катодов из карбидированного торированного вольфрама исследованы механические свойства проволоки [293-295] и дан расчет прочности катодов из нее при статических [296] и динамических [297] нагрузках. Получена формула для срока службы катода, согласующаяся с экспериментом [298]. В [293] определены зависимости прочности и модуля Юнга карбидированной проволоки от глубины карбидирования и прочности сварных соединений. Прочность карбидированной проволоки составляет 20...30 % исходной прочности даже при малой глубине карбидирования, что связано с возникновением поверхностных дефектов. При дальнейшем карбидировании прочность постепенно снижается. При правильном выборе режима сварки снижения прочности в месте соединения не происходит. Предложено в качестве критерия процесса обработки катода использовать не стабилизацию вакуума, а стабилизацию эмиссии и достижение определенного давления остаточных газов. В этом случае достигается эмиссия, большая на 10...15 % [299]. Заметим, что такой критерий может быть применен при обработке и других катодов. Вообще же критерий должен выбираться с учетом свойств и катода, и прибора, так как можно представить себе ситуацию, когда в хорошем вакууме катод не будет эмитировать и наоборот. Наконец, с вольфрамториевого катода из проволоки диаметром 0,375 мм при температуре 1830 °C в поле напряженностью 10 кВ/мм получен токоотбор 20 А/см² при длительности импульса 0,1 мкс [300]. Обзор технологии вольфрамториевого карбидированного катода и свойств карбидов дан в [301]. В работе [302] детально исследована структура торированного вольфрама, обнаружена неравномерность распределения ThO_2 .

В области карбидных катодов изучена структура поверхности

(100) TaC [303], разработана теоретическая модель поверхности карбидов переходных металлов [304]. В экспериментальном плане проведено исследование применимости TaC-, HfC-, NbC-катодов в электронном микроскопе. По достижимой яркости эти катоды не уступают LaB₆-катоде, но требуют для работы больших температур, хотя и имеют при этой, большей, температуре меньшую скорость испарения, и поэтому в перспективе — большой срок службы. Например, при температурах, обеспечивающих одинаковую эмиссию, скорость испарения HfC в 30 раз меньше, а TaC и NbC в 3 и 7 раз больше, чем LaB₆. При этом надо учитывать, что HfC для достижения той же эмиссии должен быть горячее LaB₆ на 500 °, а TaC и NbC — еще на 200...300 ° [305]. Согласно [306,307], катоды HfC и ZrC имеют большее значение отношения плотности эмиссии к скорости испарения, чем катоды LaB₆. Свойства композита вольфрам-карбид циркония (механические, тепловые и электрические) исследованы в [308]. Таким образом, карбиды перспективны для ситуаций, когда нагрев не является сложной проблемой, т.е., прежде всего, в острийных термокатадах. Впрочем, следует отметить, что карбидные катоды исследованы меньше, чем катоды большинства типов. В частности, недостаточно исследованы композиты карбид-металл, по смешанным карбидам (аналогично смешанным оксидам в технике ОК и катода на основе окислов РЗМ) данных нет. Недостаточно исследованы грани монокристаллов и нестехиометрические карбиды.

Сравнение карбидов, боридов и нитридов для катодов с высокой яркостью проведено в [309-311]. Показано, что по плотности эмиссии при температурах, обеспечивающих одинаковую скорость испарения, карбиды в общем не уступают LaB₆ (причем перспективны также дибориды), хотя разброс экспериментальных данных весьма велик. В работе [312] сообщается, что на поверхности катода вольфрам-карбид циркония обнаружены вольфрам, цирконий и углерод, и делается вывод, что пленка ZrC на поверхности не является толстой. Измерены работы выхода граней (100) нестехиометрических карбидов циркония, ниобия, титана и граней (100) и (110) карбида ванадия с дефицитом углерода. Наименьшая работа выхода (3,5 эВ) у ZrC. При экспозиции в кислороде, соответствующей сорбции 0,3...3 монослоя, работа выхода возрастает до 4,7 эВ. Экспозиция в СО на работу выхода влияет слабо [313]. Катоды, полученные электроискровым легированием молибдена и ниобия карбидами титана, циркония, гафния, ниобия, тантала, молибдена и вольфрама, исследованы в [314]. Наименьшая работа выхода (3,6...3,7 эВ) при температуре 1200...1700 °C получена для ZrC, NbC.

В работе [315] показано, что катод из ZrN , ионно-легированный цезием, при температуре $1330^{\circ}C$ сохраняет работу выхода $2,45$ эВ (что соответствует плотности тока эмиссии 6 А/см²) в течение не менее 5500 ч. При таком сочетании тока и срока службы катод ZrN среди высокотемпературных будет уступать лишь катоду на основе иридия и РЗМ. Работ по катодам на основе ионно-имплантированных соединений весьма мало, а, судя по системе $ZrN-Cs$, такие катоды могут представлять технический интерес. Конкретно для системы $ZrN-Cs$ в первую очередь надо определить состав поверхности (т.е. в чем дело: в искажении решетки или в монослое цезия?), скорость и состав продуктов испарения (прогноз предельного срока службы). Работа выхода и состав поверхности ZrN в диапазоне температур до $1900^{\circ}C$ исследованы в работе [316]. В системе ZrN_x при $x = 0,75$ достигается работа выхода $3,2$ эВ, а при наличии кислорода - $2,9$ эВ [317], это значение сохраняется до 1000 ч при температуре $1700^{\circ}C$.

Катоды из композитов металла с окислами применяются в ЭНП в качестве вторично-электронных катодов (см. разд. 7) либо в качестве катодов ГРП. Так, в [318-320] показано, что с переходом с вольфрамториевого катода на катод $W-BaO \cdot 2Sc_2O_3$ уменьшаются испарение, эрозия и увеличивается срок службы источников света, а катод $Ni-Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ позволяет снизить напряжение зажигания и увеличить срок службы прибора. Технология катода $Ni-Cs_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ исследована в [321]. В работе [322] исследована зависимость сопротивления от содержания металла в композите $Mo-Al_2O_3-Cr_2O_3$. Работа выхода вольфрама с $1,2\%$ La_2O_3 , Y_2O_3 и Dy_2O_3 измерена в [323] и составляет соответственно $3,3$ эВ (при $1100...1400^{\circ}C$), $3,9$ эВ (при $1600...1800^{\circ}C$), $4,3$ эВ (при $1200...1800^{\circ}C$). Работа выхода керметов $W-Al_2O_3$ и $W-LaCrO_3$ в парах цезия измерена в [324]. В [325] указано на целесообразность использования композитов для катодов ГРП.

В работе [326] показано, что концентрация адсорбата на поверхности может увеличиваться за счет ионизации испаряющегося адсорбата и возвращения ионов на катод и что если десорбция зависит от температуры сильнее, чем диффузия, то в этом случае возможно возникновение неустойчивости.

В [327] показано, что для катода $W-BaHfO_3$ ($BaHfO_3$ термостабилен до $2600^{\circ}C$) токоотбор при температуре $1700^{\circ}C$ составляет 220 А/см², срок службы - 100 ч, испарение - $5 \cdot 10^{-6}$ кг/м².с, а при $1000^{\circ}C$ токоотбор составляет 1 А/см².

Поверхность окисленного ниобия, полученного разными способами

(спеканием ниобия и его окиси, термодиффузией кислорода в ниобий, ионной имплантацией), исследована в [328]. Измерены степени окисления и получены функции распределения работы выхода по поверхности. Минимальная работа выхода получена на ионно-имплантированном ниобии. Замена им чистого ниобия в ТЭП увеличила ток в 2,5 раза, эффект был стабилен не менее 200 ч [329]. Термоэмиссия циркония, $ZrNb$, ZrN и платины в цезиевом низковольтном разряде исследована в [330].

В области катодов из чистых металлов опубликованных работ мало. Всестороннее обследование и обобщение данных по процессам массопереноса и изменения структуры поверхности при нагреве и пропускании тока через металлы выполнены в [331-333]. В принципе, перейдя на монокристалл вольфрама, можно было бы увеличить эмиссию примерно втрое, так как у высокоиндексных граней работа выхода меньше, но эти грани могут оказаться нестабильны при нагреве и иметь большее испарение. В работе [334] указано, что при высокой плотности отбираемого тока на эмиссию может влиять разогрев электронного газа. Такой же эффект может иметь место в других катодах. В работе [335] разработана методика измерения температуры дуговых катодов и приведены данные для вольфрамовых, циркониевых и гафниевых катодов, работающих в средах азота, окиси углерода, паров воды и воздуха с токами 50...200 А. Модель работы катода плазмотрона и подробный анализ работы дугового полого катода приведены в [336]. Массопереносу в дуговых катодах посвящены работы [337, 338] ([337] — скандату бария, алюмосиликату цезия с молибденом, [338] — вольфраму, торированному и лантанированному вольфраму, гафнию, цирконию). Модель распыления катодов знаковосинтезирующих индикаторов предложена в [339]. В работе [340] описана текстура поверхности никелевого катода в тлеющем разряде [341]. Вычислено влияние неоднородности ионно-электронной эмиссии на срок службы катода.

Скоростная фотосъемка и послойное исследование химического состава дуговых катодов: вольфрамового, работающего в гелии, вольфрамториевого, работающего в гелии и аргоне, циркониевого и гафниевого, работающих в азоте, проведены [342, 343]. В [344] обнаружено, что вольфрамовые и молибденовые дуговые катоды после их плавления кристаллизуются направлением (100) по току, никелевые — (110) по току. В модельных экспериментах показано, что металлы с тетрагональной структурой (олово, индий) и структурой объемноцентрированного куба (вольфрам, молибден, ниобий, тантал) кристаллизуются направлением (100) по току, металлы с ромбической структурой (гал-

лий) и структурой гранецентрированного куба (медь, никель, алюминий) — (110). Нагрев до 0,9 температуры плавления осуществлялся пропусканием тока. Эрозия катодов из титана, молибдена, хрома, циркония, ниобия, алюминия и углерода в вакууме, азоте, ацетилене и их смеси измерена в [345]. Зависимость потери массы от примесей кислорода в гелии, аргоне для вольфрамового катода исследована в [346]. Работа графитового катода в смеси кислород-метан исследована в [347]. В [348] определено влияние шероховатости катода на его распыление в тлеющем разряде и показано, что с увеличением шероховатости распыление уменьшается.

В [349] вычислено, как должно меняться сечение прямонакального катода по длине, чтобы температура катода была постоянной. Срок службы при этом возрастает в 30 раз. По дуговым термокатадам опубликована книга [350].

Материал о катодах на основе алюмосиликата цезия приведен в разд. 12.

Краткий исторический очерк развития основных типов катодов дан в [351].

6. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ, НЕОДНОРОДНОСТЬ, ШУМЫ

Разрабатываются автоматические системы для контроля вольт-амперных характеристик катодов [352-354], которые удобно сочетать с устройствами для индивидуальной тренировки катодов [355]. По вольт-амперным характеристикам можно находить распределение площади поверхности катода по работе выхода [356-359], а также сопротивление катода, работу выхода и рабочую температуру [360,361]. Распределение поверхности по работе выхода для MgK , LaB_6 -катодов и катодов $Pt-Ba$ исследовано в [362]. Показано, что импульсный эмиссионный микроскоп позволяет определять пространственное распределение работы выхода [363].

Влияние неоднородности температуры катода на неоднородность токоотбора было проанализировано в [364]. Попытка оценки влияния шероховатости на термо- и автоэмиссию металлических катодов сделана в [365]. Показано, что при длительностях импульса менее 0,2 нс с катодов отбирается ток, больший, чем рассчитанный по формуле Лэнгмюра [366].

В работе [367] кратко описана установка для исследования термокатодов, позволяющая регистрировать Оже-спектры, измерять испарение, эмиссию и вакуум при нагреве катода и напылении на него.

Определять работу выхода по функции распределения вторичных электронов предложено в [368], по Оже-спектрам - в [369]. Методу Кельвина посвящены работы [370,371].

По кривой спада тока при отключении накала возможна диагностика [372]. В работе [373] исследована зависимость спада тока от режима обезгаживания деталей электронно-оптической системы. Найдено распределение тока по поверхности нитей в решетчатом катоде [374]. Разработан прибор для измерения эмиссии в нулевом поле [375-377]. Созданы автоматизированные установки для измерения эмиссионных характеристик катодов [378,379]. Анализ эмиссионных параметров по кривым задержки посвящена работа [380]. Расхождения значений температуры катодов, измеренной разными способами, исследованы в [381].

Различные стохастические модели поверхности катода разработаны в работах [382-385], при этом параметры катода в целом выражаются через параметры микрообластей. Общеизвестно, что остаточная атмосфера влияет на эмиссию катодов, а для ряда катодов - на срок службы. В работах [386,387] анализируется третий путь действия остаточной атмосферы. Показано, что остаточная атмосфера может влиять на вольт-амперную характеристику прибора, если она вызывает эмиссию отрицательных ионов с катода (конкретно окиси бора с LaB_6), поскольку эти ионы создают большой отрицательный объемный заряд.

В работе [388] разработан метод измерения вольт-амперных характеристик в триоде, позволяющий находить контактную разность потенциалов между электродами и затем получать вольт-амперную характеристику с высокой точностью. С помощью этого метода обнаружен излом прямой Ричардсона молибдена при температуре 1450 °C. В работе [389] показано, что кривые задержки на вольфраме описываются теорией рекомбинационной эмиссии. Сведения о работах, ведущихся в этом направлении, даны в [390].

В работе [391] расчет эффекта Шотки проводится с учетом влияния пространственного заряда, предложенная формула дает лучшее согласование с экспериментом, чем существующие. В работе [392] предложена формула, объединяющая формулы Ленгмюра и Шотки. Анализ отклонений от формулы Ленгмюра дан в [393]. Уравнение Пуассона решено численными методами для широкой области температур в [394]. Аналитическое исследование ВАХ диодов предпринято в [380]. В работе [395] предложена общая формула для электронной яркости пятнистого термокатада в режиме насыщения и получены результаты для МПК и

LaV_6 -катодов. В работе [396] получена зависимость угла расхождения пучка от высоты и периода шероховатостей на катоде. В обычных ситуациях при шероховатости 10...100 мкм полуугол расхождения составляет 3...10 град для режима насыщения и 0,5...3 град для режима пространственного заряда. В работе [397] теоретически исследовано, как неоднородность пространственного заряда уменьшается за счет поперечного движения эмитированных электронов, и показано, что вдоль катода чаще всего плотность пространственного заряда постоянна.

Наконец, в работе [398] путем анализа справочных данных установлено, что разница работ выхода по полному току и ричардсоновской (в единицах KT_0) равна логарифму отношения предэкспоненциальных множителей A_0 и A_p .

Ряд работ выполнен в направлении исследования шумовых параметров катодов. Показано, что первый признак окончания срока службы ОК — рост шумов [9]. В работе [399] указано, что у пористого катода расширение спектра энергий эмитированных электронов и увеличение шума происходит из-за ускорения электронов, выходящих из пор. Дан расчет шумовых характеристик катодов со случайным потенциалом, распределенным по линейному закону. В работе [72] вычислено электрическое поле в покрытии ОК и определен спектр энергий эмитированных электронов с учетом этого поля. При воздействии на ОК остаточных газов фликер-шумы возрастают [400]. Шумы вторичной эмиссии ОК исследованы в [401]. Теоретический анализ подавления шумов пространственным зарядом дан в [402], а обзор работ по фликер-шумам в различных объектах — в [403, 404]. Обзор исследований и теорий эмиссионных шумов дан в [405].

7. ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КАТОДЫ

Эти катоды будем рассматривать по группам, сохраняя классификацию, принятую в [2]. Обозначения, используемые в этом разделе: σ_{max} — максимальный коэффициент вторичной эмиссии, E_{max} — энергия, при которой $\sigma = \sigma_{\text{max}}$; E_I — энергия, при которой $\sigma = 1$.

Полупроводниковые катоды. Исследованы катоды GaP с покрытием из чередующихся слоев сурьмы и цезия или теллура и цезия. Для катодов GaP-SbCs при оптимальном числе слоев $\sigma = 40$ при энергии 0,6 кэВ. Для катодов GaP-TeCs получены значения $\sigma = 9$ при 0,1 кэВ, $\sigma = 40$ при 0,6 кэВ и $\sigma = 60$ при 2 кэВ, причем насыщение зависимости σ от числа слоев не достигнуто

[406]. Для GaP-, GaAs-катодов исследовано распределение электронов по энергиям [407-409], рассчитан коэффициент вторичной эмиссии с учетом переизлучения [410, 411]. По этим катодам опубликован обзор [412].

Полимерные катоды. Получено: $\sigma_{\max} = 2,5$, $E_{\max} = 150$ эВ, $E_I = 15$ эВ для поливинилхлорида с включениями NaCl, MgO [413].

Щелочно-галогидные катоды. Показано, что коэффициент вторичной эмиссии MgO и CsI уменьшается при электронном облучении в режиме $5 \cdot 10^{-4}$ А/см², 2 кэВ [414], а коэффициент вторичной эмиссии KCl уменьшается при облучении в режиме $5 \cdot 10^{-6}$ А/см², 3 кэВ на 10...30 % за 0,5...2 ч [415].

Катоды из материалов на основе оксидов (компози́тов металл-оксид, компози́тов полупроводник-оксид и чистых оксидов). Показано, что для компози́тов никель-оксиды, в том числе Li₂O, термоэмиссия может уменьшаться в процессе электронной бомбардировки, а после ее прекращения вновь возрастать [416]. Для напыленных пленок Cu-MgO и Cu-MgO-BeO достигнуты соответственно $\sigma_{\max} = 9$ и II, $E_I = 20$ и 15 эВ [417]. У катода Y₂O₃-Re с ростом содержания Re растет работа выхода, падает вторичная эмиссия и повышается устойчивость к бомбардировке [418]. Для компози́та Cu-BaO-Li₂O исследован состав приповерхностной области и показано, что с уменьшением пористости устойчивость к электронной бомбардировке возрастает [419]. Пленки Cu-MgO детально исследованы в [420]. Для них достигнуто значение коэффициента вторичной эмиссии $\sigma = II$. Для компози́та Al₂O₃-Mo, изготовленного путем пиролиза, $\sigma_{\max} = 3,1$ при $E_{\max} = 0,35$ кэВ [421]; для BaTiO₃-Nb $\sigma_{\max} = 1,8$ и $E_I = 60$ эВ [422]. В работе [423] исследовано значительное количество сочетаний металл-оксид и показано, что минимальные и стабильные значения E_I достигаются в материалах платина, палладий, никель-оксиды ШЗМ. У катода из материала платина-окислы при работе уменьшается пористость [424]. В работе [425] ионная имплантация кислорода использована для увеличения σ_{\max} вольфрамториевого катода с 1,8 до 2,1. Компози́ты системы Ni, Pt-BaO, MgO, SrO, Al₂O₃, BeO, CaO обследованы в [426]. Для катода Pt-BaO-MgO-BeO достигнуто значение $\sigma_{\max} = 3,1$.

В работе [427] показано, что вторичная эмиссия ОК растет с увеличением температуры: для температуры 500...600 °C ее значе-

ние возросло вдвое. В работе [428] сравниваются свойства оксидного и металлопористого катодов в аспекте использования их в качестве вторичных эмиттеров. Влияние дисперсности вольфрамового порошка на свойства МПК исследовано в [429]. Вторичная эмиссия металлопористого катода объясняется наличием на его поверхности частиц Al_2O_3 размерами 3...10 мкм. В [430] исследованы свойства соединений $(LaSr)CoO_3$ - перспективных материалов для CO_2 -лазеров. В [431] исследовано взаимодействие Y_2O_3 и тантала при температуре 1370...2280 °С. Исследованы пленки MgO , полученные разными методами; $\sigma_{max} = 3,5$ [432]. Попытка вывода формулы для вторичной эмиссии на прострел сделана в [433].

Вторично-эмиссионные свойства металлопористого катода с активным веществом, содержащим Sc_2O_3 , оценены в [156,434]; показано, что $\sigma_{max} = 3,5...4,5$. При электронной бомбардировке в режиме 2,3 кэВ, 12 А/см² σ_{max} за 100 ч уменьшается до 2,5 [435]. Для BeO $\sigma_{max} = 2,9$, $E_I = 25$ эВ; при загрязнении углеродом σ_{max} падает, E_I растет [436]. У металлопористых катодов с губкой из осмия или Os-Re σ_{max} достигает 3,4 [437]. При увеличении шероховатости за счет обработки в разряде [125], при введении в ренийевую или осмиевую пленку гафния [438] вторичная эмиссия увеличивается в 1,5...2 раза.

Вторично-электронные катоды, как и термоэлектронные, часто работают в условиях ионной бомбардировки. Не касаясь в данном обзоре вопроса ионно-электронной эмиссии, отметим, что, по данным [439], введение 3 % лития в алюминий уменьшило его распыление ионами аргона и гелия с энергией 2,5 кэВ в 1,4 и 2,4 раза соответственно. Предполагается сегрегация лития на поверхности.

Металлосплавные катоды. Показано, что для катодов из сплавов Ir-La и Pt-Ba σ_{max} достигает 2,4 и 3,4 соответственно [440] и что катод из сплава Pd-Ba при температуре 400 °С и бомбардировке с импульсной мощностью 10 кВт/см² и средней 0,05...0,1 кВт/см² работает стабильнее, чем катод из $Cu-BaO-Li_2O$ [441]. Путем ионной имплантации бария и кислорода в сплав Pd-Ba получен материал с $\sigma_{max} = 9,5$ [442]. Заметим, что при активировании сплава Pd-Ba в остаточном вакууме 10^{-4} Па вместо 10^{-6} Па σ_{max} возрастает с 2,5 до 3,2 [443] и что у катода из платины обнаружена экзоэлектронная (послеэлектронная) эмиссия, связанная с наличием окисных частиц в материале эмиттера или окисных пленок [444]. Поэтому, возможно, "неокисленные сплавы" было бы правильнее называть "сплавами, не подвергавшимися

намеренному окислению". Для ряда вторично-эмиссионных катодов вопрос об истинной природе эмитирующей структуры, видимо, является нерешенным. Легирование сплава Pt-Ba ионами бария доводит σ_{\max} до 4,5, E_I до 50 эВ [445]. Поверхность Pd-Ba очищается при температуре 700 °C от хлора, при 800 °C от углерода, кислорода [446]. Угловые зависимости эмиссии Pd-Ba исследованы в [447]. Катоды из сплава Cu-Li с пленками из платины, рения имеют $\sigma_{\max} = 3,5$ и выдерживают бомбардировку с удельной мощностью 100 Вт/см² [448].

Ч а с т и ч н о в о с с т а н о в л е н н ы е с т е к -
л а. Сведения по вторичной эмиссии, проводимости и составу приповерхностной области окисных стекол в зависимости от их технологии даны в [449]. Изучена электронная энергетическая структура стекол системы PbO-SiO₂ и ее связь со вторичной эмиссией [450]. Показано, что наличие центров окраски уменьшает σ_{\max} [451]. Для стекол PbI и SiCaBiNa достигнуты значения $\sigma_{\max} = 2,5$ и 2,1 [452].

К а т о д ы и з с п л а в о в, п о д в е р г н у т ы х
о к и с л е н и ю. Показано, что сплавы Cu-Li и Ag-Li со структурой твердого раствора активируются при меньшей температуре (100 °C), чем температура активировки интерметаллических соединений (например, NiCaLi - 300 °C) [453], и что при активировке сплава Al-Li в течение 2 ч при 350 °C можно получить значения $\sigma_{\max} = 7$, $E_{\max} = 0,6$ кэВ, $E_I = 15$ эВ [454].

Катод из бериллия, подвергнутого окислению, исследован в ЛБВМ М-типа [455]. Получены следующие параметры катода: $E_I = 20$ эВ, $E_{\max} = 400$ эВ, $\sigma_{\max} = 3$. С помощью Оже-спектроскопии на поверхности катода обнаружен углерод (отношение содержаний C/Be $\approx 0,3...0,5$, C/O $\approx 0,3...0,5$) в двух формах - графитовой и карбидной. Исследованы параметры разных участков катода и зависимости параметров от концентрации углерода на поверхности. Показано, что при активировке и отравлении изменяется концентрация бария на поверхности бериллата бария [456].

Всесторонний обзор данных по вторично-электронным катодам с малым E_I , охватывающий период в 25 лет, дан в [457]. Работы [458, 459] посвящены исследованию вторичной эмиссии окисных образцов с "управляемым внутренним полем". Новая аппроксимационная формула для вторичной эмиссии, хорошо согласующаяся с некоторыми экспериментальными данными, выведена в [460].

8. КОНСТРУИРОВАНИЕ КАТОДНО-ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ, ТЕПЛОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Проблемы, связанные с конструированием катодно-подогревательных узлов (КПУ), можно разделить на две группы: обеспечение надежности КПУ в процессе эксплуатации, т.е. обеспечение стабильности температуры и положения эмитирующей поверхности, и создание экономичных узлов с малым временем разогрева.

В направлении обеспечения надежности КПУ выполнены следующие работы. В [461] приведена конструкция вольфрамового или танталового катода диаметром 10...30 мм с электронным нагревом. В [462] показано, что периодическое включение и выключение КПУ с залитым подогревателем влечет обрыв центрального вывода, если жесткость вывода слишком велика. Анализ брака залитых подогревателей дан в [463]. В [464] приведены данные по нагреву LaB_6 -катода площадью $2,5 \text{ см}^2$ индуктором, находящимся вне вакуума, при этом время разогрева составляет несколько десятков секунд (рексрдное время при этой площади – около 10 с)[2]. Контролю поступательного перемещения катода и его наклона методом голографической интерферометрии посвящена работа [465], расчету прочности узлов ЭВП при силовых и температурных воздействиях – обзор [466]. Пример расчета деформаций кольцевого катода содержится в работе [467]. В [468] рекомендовано удалять место сварки керн с держателем от зоны нагрева. Конструкция высоконадежного торцевого LaB_6 -катода диаметром 10 мм с электронным нагревом приведена в [223]. КПУ выдерживает $2 \cdot 10^5$ ударов при ускорении 3 g, вибрацию 10...2000 Гц при 25 g в течение 10 ч, 500 термоциклов; в рабочем режиме – вибрацию при ускорении до 5 g и удары при ускорении до 3 g. Параметры прямого накала – 4,5 А, 2,7 В, электронного – 60 мА, 1,8 кВ, т.е. всего 120 Вт для достижения температуры 1850 °С (тепловые потери 50 %). Оригинальный нагреватель для LaB_6 -катода диаметром 50 мм разработан в [469]. Тепловой КПД узла – 80 %. В работе [470] рассмотрено влияние режима термоциклирования на формоустойчивость КПУ.

В плане экономичных и быстронакальных катодов общие соображения по конструированию изложены в [471]. Предложено реализовать ОК кинескопа в виде прямонакально-подогревного катода. В [472] приведена конструкция ОК диаметром 6 мм с тепловым КПД 25 % и временем разогрева 10 с. Влияние допусков деталей КПУ на температуру катода рассмотрено в [473]. Метод измерения температуры катода с использованием керн в качестве одного из электродов "естественно"

термопары" предложен в [474], а с использованием цепи подогреватель-кern - в [475,476]. Предложен тиристорный стабилизатор тока эмиссии катода [477]. В прямонакальном острейном LaB_6 -катоде рекомендуется использовать углеродные прокладки между металлом и LaB_6 в качестве тепловыделяющего элемента [478]. Зависимость срока службы ОК кинескопа от режима накала проанализирована в [479].

Для металлопористого катода диаметром 3,2 мм получено время разогрева 18 с и тепловой КПД 30 % [153].

В работе [134] рассмотрены конструкция и технология кольцевого металлопористого катода. Диаметр внешний - 4 мм, внутренний - 2 мм, мощность накала - 6 Вт при рабочей температуре 1100 °C (тепловой КПД - 25 %), время разогрева - 30 с. Отметим, что кольцевые катоды по очевидным причинам при прочих равных условиях всегда характеризуются меньшим КПД.

В [480] описан LaB_6 -катод диаметром 5 см с электронным накалом, тепловой КПД - 40 % (2,4 кВт для 1650 °C).

В работе [481] дан расчет плоского спирального двухзаходного нагревателя. Работа острейного вольфрамового термокатада (электронного микроскопа) с электронным нагревом анализируется в [482]. За счет равномерного нагрева и, следовательно, равномерного испарения достигнуто [483] сохранение радиуса острия при работе катода. Для увеличения срока службы прямонакальных катодов рекомендовано стабилизировать ток накала [222,484]. Продолжается разработка систем импульсного накала; такая система для LaB_6 -катада диаметром 25 мм (электронный накал) подробно описана в [485].

Метод измерения электронной температуры при наличии фонового тока рассмотрен в [486].

Патентные материалы по конструкциям КПУ и по подогревателям рассмотрены в обзорах [487-489]. Всесторонний обзор работ по времени разогрева КПУ дан в [490].

Заметим, что к настоящему времени проблема конструирования КПУ в значительной мере стала проблемой материаловедческой. Например, альтернативой традиционно (и монополюно) применяемому для подогревателей ОК косвенного накала вольфраму и его сплавам могут стать более дешевый и технологичный нихром и подобные сплавы. Для высокотемпературных узлов (LaB_6) целесообразно применение углеродных нагревателей, в том числе из композиционных углеродных материалов. Не исследована возможность применения таких нагревателей для катодов других типов. Если такое окажется возможно, углеродные нагреватели смогут заменить нагреватели из тугоплавких металлов. На-

конец, существуют высокотемпературные соединения. Например, печь с нагревателями из хромита лантана обеспечивала в [491] нагрев до температуры 1850 °C на воздухе. Применение новых материалов целесообразно рассматривать как в аспекте замены существующих в традиционных конструкциях, так и в аспекте изготовления монолитных КПУ с пленочными нагревателями. Ряд успехов катодной техники уже связан с заимствованием "полупроводниковых" технологических принципов (монолитности, групповой технологии).

Отметим отсутствие удобной и доступной инженерной системы тепловых и прочностных расчетов КПУ: такая система должна быть переносима на основные типы ЭВМ, допускать диалоговый режим на языке, близком к естественному для инженера, и позволять осуществлять (по заданным критериям) оптимизацию.

9. АНТИЭМИССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Антиэмиссионные материалы применяются в ЭП в трех ситуациях.

Во-первых, это материалы для элементов, контактирующих с катодом, т.е. формирующих эмиссионный рельеф в условиях напыления, миграции и нагрева. В этом направлении выполнены работы [492, 493], в которых исследованы пленки гафния с подслоем молибдена на металлопористом катоде и показано образование на поверхности гафния HfC и HfO_2 . После 700 ч работы при 1120 °C содержание бария на поверхности гафния возрастает, содержание углерода убывает, кислорода не меняется. Для удаления бария нужен нагрев до температуры 1200 °C. Срок службы гафниевого покрытия на вольфрамовой губке в 2 раза больше, чем на губке W-Re, и в 8 раз больше, чем на губке W-Os [494], и при токоотборе 1,5 А/см² составляет более 500 ч [495]. Материал ZrB_2 в качестве антиэмиссионного покрытия на металлопористом катоде неэффективен [496]. Применяются также контактирующие с ОК теневые сетки из никеля [497].

Во-вторых, это материалы для коллекторов: при отсутствии сильного нагрева и иногда в условиях напыления от них требуется малая вторичная эмиссия. Результаты работ в этом направлении приведены в [498, 499]. Посредством покрытия медного коллектора ЛБВ текстурированным графитом (усы диаметром 1 мкм, высотой 10 мкм, расположенные с шагом 3 мкм) КПД ЛБВ увеличен с 40 до 45 %. В работе [500] показано, что при энергиях порядка единиц килоэлектронвольт коэффициенты вторичной эмиссии синтетического алмаза, электрополированного алмаза и пиролитического углерода одинаковы

(0,3...0,4 при 4...), а у остаточного азота несколько меньше (0,4...0,3). Обзор ранних работ по графитовым коллекторам (и другим применением углерода) дан в [501].

В-третьих, это материалы для сеток, которые должны иметь малую термоэмиссию при напылении и нагреве. В этом направлении выполнено исследование титановых покрытий [502]. Показано, что тонкие (5 мкм) титановые пленки имеют меньший срок службы, чем толстые (20 мкм), из-за диффузии титана в молибденовую подложку и что в диапазоне температур от 730 до 930 °C в парах бария они имеют меньшую термоэмиссию, чем золото. Показано, что прогрев восстанавливает антиэмиссионные свойства сеток из золота [503]. Исследован также углесталл, подвергающийся напылению бария с металлопористого катода [504,506]. При температурах более 950 °C работа выхода у углесталла в таких условиях больше, чем у карбидов, боридов и силицидов тугоплавких металлов. При температуре выше 830 °C пирографит эффективен как антиэмиссионный материал в условиях, когда он подвергается напылению тория из торированного вольфрама [505]. Исследованы свойства покрытий $ZrC-Pt$ и углеродных сеток [507]. Нитрид бора может быть применен как антиэммиттер при напылении бария до 1000 °C [508]. Материал ZrB_2 и углесталл при напылении Ba перспективны как антиэммиттеры [509].

Методика оценки антиэмиссионных сеточных материалов предложена в [510,511], причем рекомендованы бориды, карбиды и силициды титана, циркония, гафния, молибдена, тантала, вольфрама. Обзор опубликованных данных по антиэмиссионным свойствам дан в [512], некоторые сведения о антиэмиссионных покрытиях имеются в обзоре [513] по электронным пушкам, в частности по катодно-сеточным узлам. Имеющиеся данные в основном относятся к отдельным сочетаниям, о систематических исследованиях данных мало. По объему необходимых измерений задача выбора антиэмиссионного материала является для эмиссионной электроники "крупногабаритной", поскольку антиэмиссионные свойства зависят от температуры электрода, его состава, скорости напыления и состава напыляющихся веществ и остаточной атмосферы и механизм действия антиэммиттера может быть различен: растворение напыляющегося вещества, реакция с ним, десорбция, разложение с последующими растворением, реакцией или десорбцией.

Проблемы, связанные с испытанием катодов, общеизвестны, и приводить их перечень стоит лишь потому, что почти нет работ, в которых тот или иной катод исследовался бы всесторонне. Чаще всего исследуется эмиссия (путем съема вольт-амперных характеристик), реже - срок службы, совсем редко - испарение материала с поверхности катода. Между тем только знание всех этих трех характеристик позволяет сделать сколько-нибудь обоснованное заключение об эффективности катода, причем лишь в "чистых" приборах. Далее, при исследовании эмиссии надо находить эмиссионную неоднородность. Испарение в "техническом" приближении можно характеризовать проводимостью напыленных на изоляторы пленок. Необходимо определить зависимость количества и состава испаряющегося вещества при увеличении длительности работы катода. Необходимо изучить газовыделение, которое для катодов не всегда может быть уменьшено высокотемпературным отжигом, ибо это связано с необратимой потерей ресурса.

Свойства катодов сильно изменяются при незначительных колебаниях технологии. Поэтому для выяснения возможности применения нового катода неглубокое, но комплексное (эмиссия - срок службы - испарение) исследование оказывается полезнее, чем детальное обследование какого-то одного его свойства. Методика такого комплексного предварительного исследования может быть стандартизована.

Если параметры, характеризующие применимость катода в чистых условиях, легко хотя бы перечислить, то ситуация с катодами для "плохих" условий несравненно сложнее. Так или иначе на свойства катода могут повлиять наличие остаточных газов, напыление любых веществ (даже напыление материала катода) и бомбардировка любыми ионами. Возможно, следует стандартизовать несколько видов условий испытаний, имитирующих различные классы условий работы. Например, остаточное давление аргона 10^{-6} Па плюс ионная бомбардировка ионами аргона - это имитация чистого прибора; остаточное давление воздуха 10^{-3} Па плюс определенный поток паров масла, плюс определенный поток напыления вольфрама - имитация плавильной печи и т.д.

Общие проблемы катодов состоят, грубо говоря, в улучшении параметров. В соответствии с перечнем, данным выше, проблемами для катодов, применяемых в чистых условиях, являются увеличение эмиссии (как правило, это эквивалентно снижению рабочей температуры), увеличение срока службы и уменьшение испарения. Следующий круг проблем - улучшение работоспособности катода в "грязных" условиях,

также обычно зависящей от рабочей температуры. Отдельно можно назвать забытую проблему уменьшения мощности, излучаемой эмитирующей поверхностью катода в прибор (при неизменной рабочей температуре). Заметим, что все прочие проблемы являются частью проблемы срока службы, если под сроком службы понимать не "эмиссионный ресурс", а просто время работы до определенного ухудшения параметров. Сюда войдут такие подпроблемы, как прочность (вибропрочность, термочувствительность), взаимодействие материалов и т.д. И последнее, срок службы не следует трактовать как независимый параметр. Просто все параметры: и эмиссия, и стойкость к отравлению, и коэффициент излучения – должны обеспечиваться в течение срока службы.

II. АНАЛИЗ МАССИВА ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕРМО- И ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫМ КАТОДАМ

Распределение публикаций по типам термокатодов почти не претерпело изменений по сравнению с указанным в обзоре [4].

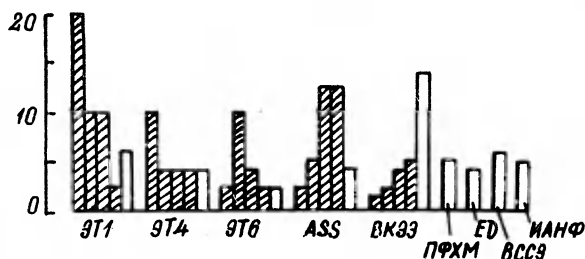


Рис. 4. Распределение публикаций по источникам (в процентах). Заштрихованные столбики слева направо – данные обзоров [508, 2-4] (заимствовано из [4]), светлые – настоящего:

- ЭТ1 – Электронная техника, сер. 1, Электроника СВЧ;
- ЭТ4 – Электронная техника, сер. 4, Электровакuumные и газоразрядные приборы;
- ЭТ6 – Электронная техника, сер. 6, Материалы;
- АСС – Applied Surface Science;
- ВКЭЭ – Тезисы докладов Всесоюзной конференции по эмиссионной электронике;
- ПФХМ – Поверхность. Физика, химия, механика;
- IEEE – Transactions on Electron Devices ;
- ВССЭ – Тезисы докладов Всесоюзного семинара по сильноточной электронике;
- ИАНФ – Известия АН СССР, Сер. физическая

Несколько уменьшилась доля публикаций по МК (с 40 до 35 %) и за счет этого увеличилась общая доля публикаций по металлосплавным, вольфрам-карбид-ториевым, карбидным и губчатому оксидно-никелевому катодам (с 10 до 15 %). Доля публикаций по LaB_6 -катодам и ОК почти не изменилась и составляет по 25 % для каждого.

"Научаемость", т.е. отношение количества исследовательских работ к количеству работ, посвященных применениям, осталась прежней – 2,5.

Распределение публикаций по основным источникам, содержащим каждый более 3 % всех публикаций охватываемого периода, показано на рис. 4.

В группу основных источников дополнительно по сравнению с обзором [4] вошли журналы "Поверхность. Физика, химия, механика", "Известия АН СССР, Серия физическая", "IEEE Transactions on Electron Devices" и сборник "Материалы Всесоюзного симпозиума по сильноточной электронике". Эти издания отражают соответственно три глобальных направления развития катодов: теоретическое, приборное – для ЭВП и "установочное" – для мощных электрофизических установок. Охват общего массива публикаций группой основных источников составляет около 50 %.

12. КОНКУРЕНТЫ ТЕРМОКАТОДОВ

Какая часть сферы применения термокатодов может быть объектом посягательств со стороны других (не термо-) катодов?

Ответ сегодня примерно следующий. В стационарном режиме единственный реальный конкурент термокатодов – автоэлектронные многоострийные катодно-сеточные структуры (МКСС; часто их называют катодами Spindta, по фамилии их разработчика), подробнее они будут рассмотрены ниже. Полупроволниковые катоды, катоды на основе диспергированных пленок, ПП и катоды на основе алюмосиликата цезия [514, 519] претендуют на применение только там, где их специфические свойства – мгновенная готовность, слабое влияние на состав среды и практическое отсутствие теплового излучения – принципиальны. Конкурентами термокатодов в указанном выше смысле они не являются. Относительно катодов с алюмосиликатом цезия следует дополнительно отметить, что они успешно применяются в газоразрядных приборах. Вопрос о механизме их эмиссии окончательно не решен. Наибольшая плотность стационарного тока $0,16 \text{ A/cm}^2$ получена при температуре 370°C и напряженности электрического поля $2 \cdot 10^4 \text{ В/см}$.

В импульсном режиме ранее лишь отдельные типы катодов с эмиссией из плазмы были способны конкурировать с термокатадами — взрывные жидкометаллические катоды и катоды на основе капиллярного разряда с испаряемой стенкой (см. обзор [1]). В настоящее время взрывные жидкометаллические катоды имеют плотность тока $3 \cdot 10^5$ А/см² и ток 100 А при длительности импульса 80 нс [520]. У взрывных катодов благодаря использованию углерода достигнута плотность тока $(1 \dots 4) \cdot 10^3$ А/см², ток 0,8...3 кА при длительности импульса 30...50 нс соответственно [521, 522]. В большинстве же случаев катоды с эмиссией из плазмы по своим параметрам не превосходят термокатоды. Так, для десорбционного щелевого катода получены параметры: плотность тока 18 А/см², ток 1,8 кА, длительность импульса 0,3 мкс [523] и плотность тока 50 А/см², ток 1,5 кА, длительность импульса 0,3 мкс [524]; для коронно-плазменного — плотность тока 24 А/см², ток 2,4 кА, длительность импульса 1,3 мкс [525]. Имеются данные по плазменному эмиттеру: плотность тока 10^4 А/см², ток 10^4 А, длительность импульса 30 нс [526]. Видно, что взрывные катоды имеют преимущество в основном при длительности импульсов менее 0,1 мкс или в случаях, когда важны устойчивость к плохому вакууму или отсутствие цепей накала и теплового излучения. Впрочем, эта область применения не является "классической" ни для одного типа катодов.

В работе [524] показано, что в области плотностей токов более 15 А/см² при длительности импульсов, по крайней мере, до 0,3 мкс десорбционно-щелевой катод обеспечивает лучшее формирование пучка, чем губчатый оксидно-никелевый, поскольку эмиссия последнего более неоднородна. Простая оценка показывает, что с десорбционно-щелевого катода может быть получен ток до 100 А/см² при длительности импульса 1 мкс и частоте 100 Гц (в вакууме 10^{-2} Па), а при больших частоте и длительности импульса или лучшем вакууме — меньший ток.

При эксплуатации термокатодов в импульсном режиме возникает естественный вопрос: обязательно ли греть катод (и расходовать ресурс) все время, если ток отбирается импульсно? Очевидно, нет; если время разогрева катода и режим токоотбора согласованы, то накал может подаваться синхронно с токоотбором [527].

Тепловые параметры катода качественно изменяются, если нагревать его со стороны эмитирующей поверхности. Известна серия работ по нагреву катода в виде монослоя цезия на вольфраме лазерным излучением (см. [4, 7, 528]), причем этот метод извлечения тока оказался не менее экономичен, чем фотоэмиссия. Делались попытки нагрева

лазерным излучением металлопористого катода, в результате получен токоотбор 40 А/см^2 [175]. Попытка расчета теплового режима и срока службы оксидного катода в таком режиме предпринята в [64, 528].

Для собственно фотокатодов при лазерном облучении достигнуты при пикосекундных импульсах следующие плотности тока: для ОК - 20 А/см^2 [529]; для MgBa-, AlBa-катодов - 175 А/см^2 [530]; для Cs_3Sb -катодов - 300 А/см^2 [531], 600 А/см^2 [532]; для LaV_6 -катодов - 20 А/см^2 [533], 500 А/см^2 [534], 7000 А/см^2 [535].

При переключении направления поляризации сегнетоэлектрика получена эмиссия 400 А/см^2 в импульсе $0,1 \text{ мкс}$ [536].

Перейдем к рассмотрению многоострижных катодно-сеточных структур (МКСС). Достигнуты следующие параметры МКСС: токоотбор - $3...4 \text{ А/см}^2$ со сроком службы $60\,000 \text{ ч}$ и 10 А/см^2 со сроком службы 3000 ч [537, 538]; токоотбор 100 А/см^2 [539] и 1000 А/см^2 [540]. Делаются попытки применения таких катодов в дисплеях, масс-спектрометрах [541, 542], ЛБВ [159], миниатюрных ЭВП субмиллиметрового диапазона [543]. Из-за высокой чувствительности к ионной бомбардировке эти катоды требуют для длительной работы высокого вакуума. По-видимому, с целью уменьшения воздействия ионной бомбардировки предложена МКСС с острьями из LaV_6 [544], Si [545-548], TiC [549], NbC, TaC [550]. Известно, что стабильно работает в плохом вакууме многоострижный (без прикатодного электрода) катод из графита: при токоотборе 300 А/см^2 и полном токе $0,1 \text{ А}$ получен срок службы 1000 ч в вакууме $5 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$ [551, 552]. Поэтому представляет интерес возможность выполнения МКСС из углерода [553]. Заметим, что ионная бомбардировка может существенно ослабляться в ЭВП с ленточным пучком [554] или с СВЧ-полем [555]. Расчет ионной бомбардировки острейного катода дан в [556]. Основным недостатком многоострижных автокатодов является неламинарность формируемого пучка [557], однако существуют пути для уменьшения угла, в котором эмитируются электроны. Обзор данных по МКСС содержится в [512].

13. ПРОБЛЕМА ИСПЫТАНИЙ С БОЛЬШИМ ТОКООТБОРОМ

Задача разработки метода испытания термокатодов в режиме отбора больших токов, по-видимому, впервые целенаправленно рассматривалась в работе [558]. Эта задача является для эмиссионной электроники одной из основных. Во-первых, многие свойства катодов, важные для их работы, ярче выявляются при увеличении токоотбора. Во-вторых, увеличение токоотбора необходимо как для продвижения в

область больших частот и мощностей приборов, так и для продвижения в область больших КИД (уменьшение компрессии для улучшения ламинарности и рекуперации). В-третьих, увеличение токоотбора с катодов — одно из направлений естественного стремления к совершенству.

Как видно из литературных данных, сложно отбирать токи большей плотности в стационарном режиме. Действительно, в режиме микросекундных импульсов с ОК удавалось получать плотность тока $120...210 \text{ A/cm}^2$ и с металлопористого катода $170...450 \text{ A/cm}^2$, в то время как в стационарном режиме с металлопористого катода удавалось отбирать $40...100 \text{ A/cm}^2$ (см. обзор [1]).

Что ограничивает токи, отбираемые с катодов? Вакуумный пробой, испарение материала анода и пробой в его парах, газовыделение и пробой в газе. Эти три процесса могут протекать как совместно, так и независимо друг от друга. Приводят же они к дуговому разряду, разрушающему катод и прибор. Начнем рассмотрение с проблемы откачки зазора анод-катод.

В какой мере скорость откачки прикатодного пространства зависит от размера зазора катод-анод? Пусть диод, как обычно, откачивается через штенгель диаметром $d = 1 \text{ см}$ и длиной $l = 10 \text{ см}$. Его пропускная способность будет составлять около 1 л/с . Скорость откачки зазора в $0,1 \text{ см}$ между катодом диаметром $0,3 \text{ см}$ и анодом будет такой же. Прогреть катоды (с целью лучшего обезгаживания) при температуре существенно большей, чем рабочая температура, нельзя. Поэтому газовыделение сделает затруднительным использование зазоров менее 1 мм . Известно, что хорошо обезгаженный материал можно исследовать в диоде с зазором порядка десятков микрометров и плотностью тока до 1 A/cm^2 без приложения анодного напряжения от внешнего источника (режим ТЭП) [21]. Увеличение плотности тока до 100 A/cm^2 требует уменьшения зазора катод-анод до 1 мкм [21], что сильно ограничивает круг материалов, которые могут испытываться в таком приборе, и делает задачу создания такого прибора сложной.

Можно ли увеличить скорость откачки прикатодного пространства? Да, если замыкающий его электрод (сетка, анод) аналогично лопастям турбомолекулярного насоса движется со скоростью порядка тепловых скоростей молекул. Но прочностные ограничения не позволяют получать линейные скорости на вращающемся аноде выше примерно 600 м/с . Большую скорость можно получить, используя в качестве анода струю жидкого металла (давление пара олова, индия, галлия в точке плавления менее 10^{-11} Па), но реализовать такой прибор трудно.

Даже если установить в нескольких микрометрах от катода сетку и вытягивать ток, подавая на нее положительное напряжение (мощность на сетке будет относительно мала), то за сеткой необходимо иметь хорошо откачиваемый и, следовательно, высоковольтный зазор. Заметим, что механизм влияния остаточной атмосферы на работу катода более сложен, чем это принято считать, и отравлением дело не исчерпывается. Недавно было показано, например, что при работе в плохом вакууме с LaB_6 -катода испаряются ионы окиси бора и это уменьшает первеанс [386,387]. С другой стороны, ионизация продуктов испарения катодов эмитированными электронами влечет компенсацию пространственного заряда, увеличивающую токоотбор. Расчет показывает, что при испытании LaB_6 -катода в диоде с зазором 1 мм при напряжении 5 кВ и давлении 1 Па компенсация будет полной. Для LaB_6 это соответствует температуре 1900 °С, но уже при 1750 °С и давлении пара 0,1 Па эффект будет заметен.

Влияет остаточная атмосфера и на электропрочность прибора: окисление [559] и образование полимерной пленки [560] способны увеличить электропрочность.

Рассмотрим проблему электропрочности. Из вариантов, предложенных в [558,561], триод с диафрагмой и цилиндром Фарадея предпочтительнее диода с магнитным поворотом луча. При умеренных требованиях к однородности поля (30 %) зазор в первом случае составляет 0,3 диаметра катода [561], во втором – около 0,6 диаметра катода. Для триода с диафрагмой наличие магнитного поля, как и сферичности катода, не обязательно.

Далее, известно, что в диодах и особенно в триодах [562] с газовым наполнением можно отбирать большие токи за счет компенсации пространственного заряда. Однако мы рассматриваем вакуумные варианты – в приборе с газом на работу катода будет влиять ионная бомбардировка. Предельные возможности вакуумного триода с плоским катодом и диафрагмой видны из рис. 5. Можно ли обойти проблему электропрочности? Известно, что развитие пробоя требует времени и в режиме коротких импульсов электропрочность выше. Однако исследовать влияние токоотбора на катод необходимо и в стационарном режиме (или режиме малой скважности). Возможны расположение напротив катода нескольких диафрагм и попеременная подача на них положительного напряжения. На остальные при этом подается отрицательное напряжение, тормозящее развитие предпробойных процессов. Для катода такой режим является стационарным, для диафрагм и коллекторов –

импульсным. Питание такого прибора возможно и от высокочастотного трехфазного напряжения.

Проблема нагрева анода может быть решена путем распределения тока на большую площадь, как это и предполагалось в [556]. Представляет интерес применение вращающегося анода, как в рентгеновских трубках. Однако при диаметре катода 3 мм допустимая плотность мощности на аноде будет около 300 кВт/см^2 [563], что обеспечит отбор тока плотностью лишь 30 А/см^2 , т.е. этот метод уступает, по-видимому, методу [561].

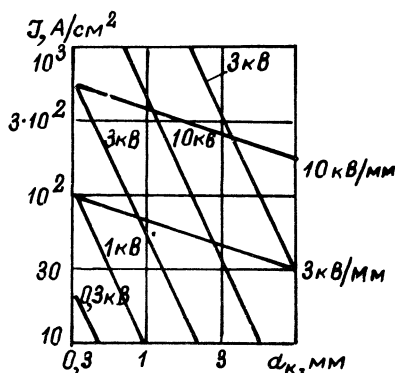


Рис. 5. Изолинии напряжений и напряженностей поля на электродах в зависимости от диаметра катода и требуемого токоотбора. Зазор катод-диафрагма составляет 0,3 от диаметра катода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1986–1991 гг. физика и техника термо- и вторично-электронных катодов находилась в состоянии стабильного развития. Распределение публикаций по типам катодов и отношение количества исследовательских и внедренческих работ не изменилось по сравнению с 1980–1986 гг. Заметны "измельчание" публикаций – доля публикаций в тезисах разных конференций увеличилась в несколько раз – и уменьшение концентрации публикаций, т.е. увеличение количества журналов, где публикуются работы нашей отрасли.

Автор благодарен М.А. Андреевой за помощь в составлении обзора.

1. Ашкинази Л.А., Логинов Л.В. Термоэлектронные и вторично-электронные катоды. Ч. 1, 1981; Ч. 2, 1982. - М.: Информэлектро.
2. Ашкинази Л.А., Соболева Н.А. Термоэлектронные, вторично-электронные и фотоэлектронные катоды//Итоги науки и техники. Сер. Электроника. - 1983. - № 15. - С. 154-216.
3. Ашкинази Л.А. Катоды для электровакуумных приборов СВЧ//Итоги науки и техники. Сер. Электроника. - 1985. - № 17. - С. 311-343.
4. Термоэлектронные и вторично-электронные катоды для ЭВП: Обзор по электронной технике. Сер. 6, Материалы / Л.А. Ашкинази, А.П. Коржавый. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - № 8.
5. Ашкинази Л.А. Термо- и вторично-электронные катоды для ЭВП и ГРП//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 184.
6. Влияние режима разложения карбонатов ЦЗМ на состав и эмиссионные свойства получаемых окислов / В.Ф. Шнюков, В.И. Михайловский и др.//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1500-1503.
7. Witkowski A. Ujednoliconie weglany potrojne barowostrontowiapniowe//Pr. OBREP. - 1985. - No 1. - P. 47-52.
8. Исследование структуры покрытия металлизированного оксидного катода / Б.Д. Васильев, Т.В. Сахно и др.// Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. 2(386). - С. 39-41.
9. Соколов А.М. К вопросу о механизме деградации эмиссионных свойств оксидных катодов в процессе работы//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 228.
10. Говядинов А.Н., Григоришин И.Л., Мардилович П.П. Фазовый состав эмиссионных М-покрытий//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 108.

11. А н а н и ч П.В., Г о в я д и н о в А.Н., Т я в л о в с к а я Е.А. Элементарный состав и структура М-покрытия// Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 109.
12. Фазовый состав молекулярно-напыленных покрытий / А.Н. Г о в я д и н о в, И.Л. Г р и г о р и ш и н и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 6(420). - С. 36-39.
13. Г о в я д и н о в А.Н., Т я в л о в с к а я Е.А. Состояние кислорода в соединениях щелочноземельных металлов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 161.
14. Г о в я д и н о в А.Н., Г р и г о р и ш и н И.Л. Карбонизация молекулярно-напыленного оксидного катода//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 162.
15. Б о л ь ш а к о в А.Ф., Е м е л ь я н о в В.С., Л я с н и к о в В.Н. Исследование фазового состава катодных покрытий, полученных плазменным напылением тройных карбонатов Ва, Sr, Са //Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1989. - № 6. - С. 17-21.
16. Л я с н и к о в В.Н., У к р а и н с к и й В.С., Ф и л и м о н о в С.А. Плазменное напыление тройных карбонатов щелочноземельных металлов в производстве мощных ЭВМ//Электронная промышленность. - 1988. - № 3. - С. 54-57.
17. К н я з е в А.Я., Л и ф а н ц е в Е.Н. Оценка времени готовности оксидного катода//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 2(406). - С. 47-49.
18. Реакционная способность оксидной компоненты М-покрытия / А.Н. Г о в я д и н о в, П.П. М а р д и л с в и ч, М.В. З а р е ц к и й и др.//Весті АН БССР. Сер. фіз-мат. наук. - 1988. - № 4. - С. 91-95.
19. А л е к с а н д р о в Е.М., И в а н о в С.Н. Влияние поверхностных покрытий никеля, платины, меди на эмиссионные свойства оксидных катодов//Изв. вузов. Сер. Химия и химическая технология. - 1987. - Т. 30, № 9. - С. 76-79.

20. С в е ш н и к о в В.К., С в е ш н и к о в а Н.М. Вторичная эмиссия электронов с оксидного катода в разряде при адсорбции натрия//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. 2. - С. 121.
21. С в е ш н и к о в В.К. Термоэлектронная эмиссия оксидного катода в натриевом разряде низкого давления//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. 1. - С. 202.
22. Катоды. Ч. 1. Оксидные катоды: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / Л.Ф. Т е с л е н к о, А.И. М а ш т а к о в а. - М.: ЦНИИ "Электроника", 1985. - Вып. 14(1154).
23. N a k a n i s h i H. Thermionic cathodes for CRTs //Объединение. - 1987. - Vol. 56, No 11. - P. 1423-1432.
24. А л е к с а н д р о в Е.М., Г р о м о в В.Н. Исследование электропроводности и теплопроводности оксидного катода, химически металлизированного высокодисперсной платиной//Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1988. - Т. 24, № 6. - С. 972-975.
25. А л е к с а н д р о в Е.М., Ф и л и п п о в а М.Э. Особенности активирования оксидного катода, химически металлизированного высокодисперсной платиной//Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1988. - Т. 24, № 6. - С. 969-971.
26. А л е к с а н д р о в Е.М., Л у б я н и ц к а я К.Ф., К о з л о в с к а я Г.П. Электрические и тепловые свойства оксидных катодов, содержащих никель в эмиссионном слое// Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 3(417). - С. 39.
27. Т у п о л е в а Т.И., Б о й к о А.В. О свойствах суспензий тройных карбонатов щелочноземельных металлов с добавкой высокодисперсного порошка металлического рутения / Харьк. Гос. пед. ин-т. - Харьков, 1988. - Деп. УкрНИИТИ 20.05.88, № 12 62-Ук88.
28. Структура и электрофизические свойства карбонатов и оксидов щелочноземельных металлов с примесью никеля / Е.М. А л е к с а н д р о в, Г.П. К о з л о в с к а я, Г.Д. К р о т о в а и др.//Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1990. - Т. 26, № 8. - С. 1687-1691.
29. К о р о л е в С.В., Л а з а р е в В.Н., Ф е д о т о в а Л.К. Термодинамика процессов в оксидно-никелевых термо-

- эмиссионных материалах при вакуумно-термической обработке//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 137.
30. К а н и ч е в а И.Р., М е л ь н и к о в С.П., Ш а л ь н о в а Л.Г. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов прессованных оксидно-никелевых катодов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 106.
31. Г н у ч е в Н.М. Современное состояние физики и диагностики поверхности термоэлектронных эмиттеров//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1504-1508.
32. К и с е л е в А.Б., К о р о л е в С.В. Исследование эмиссионной неоднородности губчатых прессованных оксидных термокатодов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 227.
33. Г н у ч е в Н.М., К а н и ч е в а И.Р. Оже-анализ поверхности прессованного оксидно-никелевого катода при рабочей температуре//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 232.
34. С м и р н о в В.А. Исследование испарения компонентов оксидного катода во время его длительной работы//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. I(395). - С. 36-40.
35. С м и р н о в В.А. Явление аномального испарения компонентов эмиссионно-активных окислов ШЗМ из их твердых растворов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 113.
36. К л е м е н т ь е в Ю.Ф., К н я з е в А.Я., Л и ф а н ц е в Е.Н. Масс-спектрометрическое исследование продуктов испарения молекулярно-напыленного оксидного катода//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. I0(394). - С. 23-27.
37. Исследование диффузионных процессов в катодах на основе биметаллического композиционного нихром-никелевого сплава / Л.Е.Г р и м а н о в с к и й, В.М. Л а п и ц к а я, Г.Е. А с т а х о в а и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1990. - № I. - С. 21-25.

38. Влияние режима термовакуумной обработки оксидных катодов на их состав и эмиссионные свойства / В.Ф. Шнижков, Б.И. Михайловский, О.А. Минтусова и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 4. - С. 50-54.
39. Voland J.J., Segredo E. Characterization of the photoresist residue in integrated thermionic devices//J. Appl. Phys. - 1988. - Vol. 64, No 5. - P. 2725-2728.
40. Астраханцева Н.Ф., Лисс В.В. Влияние режима тренировки сверхдолговечных ЛБВ с оксидным катодом на стабильность их эмиссионных параметров//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 9(413). - С. 63-65.
41. Астраханцева Н.Ф. Оперативный производственно-технический анализ эмиссионного брака//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 4(418). - С. 56-59.
42. Yaer Ji, Ting Wu. Summary abstract: study of poisoning of an oxide cathode//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3(1). - P. 1073-1074.
43. Кантер Б.З., Никифоров А.И. Применение электронной пушки с оксидным катодом в системе дифракции быстрых электронов на отражение//ПТЭ. - 1990. - № 5. - С. 165-168.
44. Itoh S., Yokoyama M., Norimoto K. Poisonous gas effects on the emission of oxide coated cathodes//J. Vac. Sci. Technol. - 1987. - Vol. A 5, No 6. - P. 3430-3435.
45. Моргунов И.В. Влияние германия на эмиссионные параметры оксидного и металлопористого катодов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. I(405). - С. 39-40.
46. Исследование структуры и эмиссионной однородности катодных покрытий из твердых растворов щелочноземельных металлов / Л.Н. Зубов, В.А. Смирнов и др.//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 152.
47. Влияние режима разложения карбонатов ЦЗМ на состав и эмиссионные свойства получаемых окислов / В.А. Шнижков, Б.И. Михайловский и др.//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 116.

48. Integrated electron sources for multibeam CRT's / B.P. P i g g i
E. S e g r e d o et. al. //Conf. Rec. Int. Display Res. Conf.
San Diego, Calif. Oct. 15-17 1985, New York. - N. Y.: 1985. -
P. 192-196.
49. Integrated electron sources for multibeam CRT's / B. P. P i g g i
E. S e g r e d o, J.F. O'Hanl o n et.al.//IEEE Trans. -
1986. - Vol. ED-33, No 8. - P. 1116-1122.
50. Самков А.В., Ашкинази Л.А. Резервы повышения
надежности и долговечности оксидных катодов косвенного накала//
Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев.
1987. - Т. I. - С. I46.
51. Филиппов Н.И. Влияние присадок циркония в катодных ок-
сидных катодов на качество и надежность ЭВП с малым временем
готовности//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. -
1986. - Вып. 7(391). - С. 81-82.
52. Горфинкель Б.И. Долговечность низковольтных катодо-
люминисцентных индикаторов//Электронная техника. Сер. 4, Элект-
ровакуумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 4. - С. 19-25.
53. Пат. 60-133626 Японии, NO1 I/20. Катодно-подогревательный узел
для ЭЛП / Ю. Таканаси, К. Никайдо. - Оpubл.
16.07.85.
54. Пат. 60-133626 Японии, МКИ NO1 I/20 / К. Кобаяси. -
Оpubл. 16.07.85.
55. A high resolution color CRT for CAD/CAM use / H. N a k a n i s h i,
S. O k u d a et. al.//Conf. Res. Int. Display Res. Conf. San
Diego, Calif., Oct. 15-17, 1985, New York, N. Y.: 1985. - P. 197-
199.
56. N a k a n i s h i H. A scandium-oxide dispersed cathode for
CRT's//Mitsubishi Elec. Adv. - 1987. - Vol. 39. - P. 29-30.
57. Higher current density oxide cathode for CRT / M. S a i t o,
M. I s h i d a, K. F u k u y a m a et. al.//NTG-Fachber. -
1986. - Vol. 95. - P. 165-170.
58. Заявка № I225032, МКИ NO1 L/I4 (Япония). Катоды для электро-
вакуумных приборов / К. Ватабаэ, К. Фукуяма,
С. Исида и др.

59. Н и к о н о в Б.П. Способ повышения плотности тока эффективного термокатода электронно-лучевого прибора//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 2(416). - С. 74-75.
60. Высокоэффективный термокатод на основе окислов щелочноземельных металлов / Г.Я. П и к у с, С.П. Р а к и т и н, В.М. С а м о й л е н к о, В.И. К о ч е т к о в//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 230.
61. К а п у с т и н В.И. Расчет температурной зависимости работы выхода ВаО//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 229.
62. И в а н о в В.И., М о ж а е в П.В. Разработка механизма воздействия ионизирующих излучений на термоэмиссию оксидных катодов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 160.
63. И б р а г и м о в А. Возможный механизм холодной эмиссии с окислов щелочноземельных металлов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 10.
64. А ш к и н а з и Л.А. Возможность работы оксидного катода в импульсном режиме с отбором тока большой плотности//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 118.
65. Г а л а г А.Б., С а ф о н и к Н.Н., К о р м и л е ц В.М. Влияние температуры оксидного катода на его фотоэмиссионные свойства. - Деп. Укр. НИИНТИ 15.03.90, № 531-Ук90.
66. Г р и г о р ь е в а М.И. Влияние толщины и пористости оксидного покрытия на термоэлектронную эмиссию в диоде//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 150.
67. К а п у с т и н В.И., М а р и н В.П. Физическая модель термоэмиссии оксидов термокатодов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 123.
68. К а п у с т и н В.И., М а р и н В.П. Модель испарения компонентов оксидов термокатодов//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 124.
69. К р а с и н ь к о в М.В., М о й ж е с Б.Я. О работе выхода оксидного катода//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1985. - № 10. - С. 98-104.

70. Ашкинази Л.А., Дедков А.Ф. Метод построения моделей процессов на поверхности//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 166.
71. Ашкинази Л.А., Дедков А.Ф. Применение метода дискретного моделирования процессов на поверхности для анализа взаимодействия оксида с газами//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 209.
72. Ашкинази Л.А., Марков В.Т. Поле в покрытии оксидного катода и энергия эмиттированных электронов//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1986. - № 3. - С. II-15.
73. Иванов В.И., Можжев П.Б. Модификация эмиссионных свойств $(\text{BaSr})\text{O}$ высокоинтенсивным ионизирующим излучением// Физика и химия обработки материалов. - 1989. - № 6. - С. 12-15.
74. Князев А.Я. Связь работы выхода оксидного катода с ее температурным коэффициентом//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 6(410). - С. 29-31.
75. Segredo E., Boland J.J. Observation of apparent compensation behavior in thermionic electron emission//IEDM. - 1987. - P. 701-704.
76. Ашкинази Л.А. Бистабильный схемный элемент для высокотемпературной электроники на основе теплового пробоя в оксидном катоде//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 208.
77. Соколов А.М. Долговечность оксидного покрытия на узких ленточных ядрах//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1985. - Вып. 2(374). - С. 39-41.
78. Исследование "краевого эффекта" испарения оксидного катода / В.П. Васильев, И.М. Луценко и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1966. - Вып. 3. - С. 186-190.
79. Абалдуев Б.В. Некоторые особенности тонких прямо-накальных оксидных катодов в низковольтных катодолюминесцентных индикаторах//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1980. - № 3. - С. 66-68.
80. Ашкинази Л.А. Оптимизация и предельные параметры оксидного катода с двухслойным покрытием и(или) низкоомной структурой//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1983. - № 6. - С. 56-58.

81. Лемменс Х.Дж., Залм П. Оксидные катоды для получения тока плотностью от 1 до 2 А/см² //Эффективные термокатоды. - М.-Л., Энергия, 1964, вып. 4, с. 147-153.
82. Шатохин В.Л. Тренировка оксидного катода для газоразрядного прибора//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 4. - С. 59-60.
83. Массолетти Дж. Новый узел с оксидным катодом для дуоплазмотрона//Приборы для научных исследований. - 1989. - № 5. - С. 144-145.
84. Лакомский В.И., Таран А.Я. Оксидный катод многоамперной электрической дуги//Письма в ЖТФ. - 1989. - Т. 15, № 18. - С. 24-27.
85. Протяженные импрегнированные катоды / Б.Ю. Адамьяк, А.П. Коржавый и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 3. - С. 33-34.
86. Филиппов Н.И., Филиппова О.Т. Повышение качества поверхности L-катода//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. I(385). - С. 63-64.
87. Мельникова И.П., Усанов Д.А., Дарченко А.О. Гранулометрический анализ вольфрамовых порошков для металлопористых таблеток//Электронная промышленность. - 1990. - № 9. - С. 15-16.
88. Mescher J.A., Grant J.T. Scanning electron microscopy studies of impregnated tungsten dispenser cathodes// Scanning Electron Microsc. - 1985. - Pt. 4. - P. 1347-1356.
89. Tomich D.H., Mescher J.A., Grant J.T. Surface composition and barium evaporation rate of "pedigreed" impregnated tungsten dispenser cathodes during accelerated life testing//Appl. Surf. Sci. - 1987. - Vol. 28, No 1. - P.34-51.
90. Benner R.E., Mitchell J.R., Grow R.W. Raman scattering as a diagnostic technique for cathode characterization//IEEE Trans. - 1987. - Vol. ED-34, No 8(2). - P. 1842-1847.

91. Cathode analysis using raman spectroscopy / S.B. Turcotte, J.R. Mitchell et. al.//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 188-193.
92. Optical probes for cathode characterization / J.R. Mitchell S.B. Turcotte et. al.//IEDM. - 1987. - P. 697-700.
93. Кан Н.К.А., Сеавер Р.Р. Impregnant composition in dispenser cathodes//Appl. Surf. Sci. - 1986. - Vol. 25, No 1-2. - P. 118-126.
94. Исследование свойств металлопористых катодов (МПК) на основе алюминатов $(\text{BaO})_{4-x}(\text{CaO})_x\text{Al}_2\text{O}_3$ / О.Ю. Масленников, М.В. Паромова, Ю.В. Титов и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 174.
95. Use of the work function distribution for cathode characterization / A.M. Shroff, J.C. Tonnerre, P. Lucas// IEDM. - 1987. - P. 705-708.
96. Fang C.S., Tse W.S., Maloney C.E. Re/Ir/W and Os/Ir/W alloy coatings on impregnated tungsten cathodes//Appl. Surf. Sci. - 1988. - Vol. 33/34, No 1. - P. 189-199.
97. Исследование поверхности металлопористых термокатодов методом электронной Оже-спектроскопии / А.Н. Андронов, С.И. Воробьев и др.//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 134.
98. Карпухин С.В., Камерцель А.Ю. Диагностика поверхности металлопористых катодов с различным составом губки//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 106.
99. Свинцов В.В. Использование метода Оже-спектроскопии для исследования элементного состава поверхности металлопористого катода//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 6(430). - С. 36-41.
100. Изучение процесса адсорбции атомов бария на поверхности металлопористой губки МПК / К.А. Турсунметов, Ю.З. Гурков и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 224.

- IOI. Карпухин С.В., Камерцель А.Ю. Диагностика поверхности металлопористых катодов с различным составом губки//Изв. АН СССР. Сер. Физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1628-1630.
- IO2. Исследование состава поверхности металлопористых катодов методом электронной Оже-спектроскопии//В.Ф. Шнюков, Б.И. Михайловский, А.Е. Лушкин и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. 8(392). - С. 30-33.
- IO3. Ma J., Zhang Y., Han C.H. Поверхностная диффузия кальция в импрегнированном катоде, усиленная кислородом//J. Electron. - 1989. - Vol. 11, No 2. - P. 182-190.
- IO4. Формирование, рост и электронные спектры микрокристаллов окиси бария / Н.В. Васильева, В.А. Иванов и др.//ФТТ. - 1990. - Т. 32, № 2. - С. 368-372.
- IO5. Кирсанова Т.С., Тумарева Т.А. Изменение структуры и эмиссионных свойств пленок окиси бария с толщиной покрытия//Тр. ЛПИ. - 1989. - № 429. - С. 40-45.
- IO6. Механизм работы и старения осмированного металлопористого катода / А.П. Макаров, О.К. Култашев, Е.Д. Куранова и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 170.
- IO7. Гнуцев Н.М. Современное состояние физики и диагностики поверхности термоэлектронных эмиттеров//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. II4.
- IO8. Grant T.J. Emission degradation characteristics of coated dispenser cathodes//IEDM. - 1986. - P. 700-703.
- IO9. Горбатов Д.Н., Мурашов С.Н., Юкина Н.М. Исследование эмиссии металлопористых катодов, работающих в резко неоднородном поле//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. I(415). - С. 3-7.
- II0. Метод контроля качества активировки металлопористых катодов в процессе откачки клистронов / Г.Н. Алпатов, П.П. Брусянская и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 3(417). - С. 52-55.

- III. Os-coated cathode for very high emission-density applications /
A. Shih, A. Berry et. al.//IEEE Trans. - 1987. -
Vol. ED-34, No 5, Pt. 2. - P. 1193-1200.
- II2. Impregnated cathode coated with tungsten thin film containing
 Sc_2O_3 / S. Yamamoto, S. Taguchi et. al.//Vac.
Sci. Technol. - 1987. - Vol. A 5, No 4, Pt. 2. - P. 1299-1302.
- II3. Electron emission properties and surface atom behaviour of an
impregnated cathode coated with tungsten thin film containing
 Sc_2O_3 / S. Yamamoto, S. Taguchi et. al.//Jap.
J. Appl. Phys. - 1986. - Vol. 25, No 7. - P. 971-975.
- II4. Hasker J., van Esdonk J., Crombeen J.E.
Properties and manufacture of top-layer scandate cathodes//
Appl. Surf. Sci. - 1986. - Vol. 26, No 2. - P. 173-195.
- II5. Hasker J., van Esdonk J., Crombeen J.E.
Some properties and manufacture of top-layer scandate cathodes//
NTG-Fachber. - 1986. - Vol. 95. - P. 236-242.
- II6. Hasker J., Crombeen J.E., van Dorst P.A.M.
Comment on progress in scandate cathodes//IEEE Trans. - 1989. -
Vol. ED-36, No 1(2). - P. 215-219.
- II7. Yamamoto S. Эмиссионные свойства и механизм действия
импрегнированного катода на основе Sc//J. Vac. Soc. Jap. -
1988. - Vol. 31, No 10. - P. 833-840.
- II8. Work function measurements of $(\text{W-Sc}_2\text{W}_3\text{O}_{12})$ -coated impregnated
cathode by retarding potential method utilizing titanated
W(100) field emitter / S. Yamamoto, T. Yaguchi
et. al.//Jap. J. Appl. Phys. Lett. - 1989. - Vol. 28, No 5(2). -
P. 1865-867.
- II9. Van Veen N.J.A. XPS on impregnated cathodes: surface
concentrations and thermal stability//Appl. Surf. Sci. -
1987. - Vol. 29, No 1. - P. 113-126.
- II20. Application of an impregnated cathode coated with $\text{W-Sc}_2\text{O}_3$ to
a high current density electron gun//Appl. Surf. Sci. -
1988. - Vol. 33/34. - P. 1200-1207.

- I21. Electron emission enhancement of a W-Sc₂O₃-coated impregnated cathode by oxidation of the coated film. Pt. 1 / S. Yamamoto, S. Taguchi et. al.//Jap. J. Appl. Phys. - 1988. - Vol. 27, No 8. - P. 1411-1414.
- I22. Влияние параметров осмированного металлопористого катода на его некокальную характеристику / О.Ю. Масленников, С.А. Матюшин и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 8(422). - С. 48-53.
- I23. Kneipp K., Bosch H., Salewsko W. Raman study of thorium tungsten cathodes//Phys. status solidi A. - 1989. - Vol. 114, No 2. - P. K255-K258.
- I24. Гурков Ю.В., Пожидаев В.Н., Тараш И.Л. Стабилизация пленочного осмиевого покрытия на поверхности мемаллопористого термокатада//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. I72.
- I25. Создание и исследование поверхностных структур на металлопористых катодах с целью улучшения их эмиссионных характеристик / И.П. Ли, С.А. Брюханов, Ю.В. Гурков и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. I75.
- I26. Влияние режима термовакуумной обработки МПК на их физико-химические и эмиссионные свойства / В.Ф. Шнюков, Б.И. Михайловский и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. I76.
- I27. Pattering of dispenser cathode surfaces to a controlled porosity / C.E. Garner, W.D. Deininger et. al.// IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 158-168.
- I28. Гурков Ю.В., Пожидаев В.Н. Исследование процесса активации эмиттирующей поверхности на модели металлопористого катода// Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. I71.
- I29. Garner C. Chemically assisted ion beam etching of polycrystalline and (100) tungsten// J. Vac. Sci. Technol. - 1987. - Vol. B 5, No 1. - P. 332-336.
- I30. Thomas R.E., Gibson J.W. Work function variation versus alloy concentration for dispenser cathodes//Appl. Surf. Sci. - 1987. - Vol. 29, No 1. - P. 49-66.

131. Влияние катода на характеристики дуговых газоразрядных приборов / Х.С. Кан, Л.П. Дроздецкая, В.И. Баранов а//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 205.
132. Чубун Н.Н., Судакова Л.Н., Иванова Л.А. Эмиссионные свойства катодов с контролируемым составом и свойствами поверхности//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 182.
133. Falce L.R. A cavity reservoir dispenser cathode for CRT's and low-cost travelling-wave tube applications//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 169-172.
134. Вирин Я.Л., Кулешова Т.Ф. Катодно-подогревательный узел с металлопористым кольцевым катодом//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 4(408). - С. 41-43.
135. Berna M., Smith B. A high-peak power pulsed helix TWT//Electron. Eng. - 1988. - Vol. 60. - No 741. - P. 31-34.
136. Reliability assessment of dispenser-type thermionic cathodes / J.L. Stevenson, S.M. Agesen et. al.//Qual. Rel. Eng. Int. - 1988. - Vol. 4, No 4. - P. 347-366.
137. Yamamoto K. High power trasponder and antenna for broadcasring satellites//Telecom. Technol. Jap. Annu. Rev. Eateen. Comput. and Telecom. - Tokyo, Amsterdam, 1985-1986. - P. 162-168.
138. Bierman H. Microwave tube design efforts yield steady performance improvements//Microwave J. - 1988. - Vol. 31, No 6. - P. 52-73.
139. Hubner E., Speidel P. Long-life results of heavy-current cathodes at $1,24 \text{ A/cm}^2$ //NTG-Fachber. - 1986. - Vol. 95. - P. 145-150.
140. Shroff A.M., Firmain G. Long-life travelling-wave tubes. Use of "M" type cathode. Life prediction model//IEDM. - 1985. - P. 346-349.
141. Катодные узлы с сильноточными эмиттерами для электровакуумных приборов / В.А. Смирнов, Л.Н. Зубов, В.В. Писаренко и др.// Тез. докл. УШ Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. III. - Свердловск, 1990. - С. 42.

- I42. M c D e r m o t t M.A., T a m a s h i r o N.N. A 20 GHz, 70 Watt, 48 percent efficient space communications TWT//AIAA 11 Commun. Satell. Syst. Conf., San Diego, Calif., March 17-20 1986, New York. - N.Y., 1986. - P. 600-604.
- I43. G r e e n M.G. Modern thermionic cathodes//IEDM. - 1987. - P. 925-928.
- I44. A 12 GHz, 150 W, travelling-wave tube amplifier for broad casting satellites / T. K i m u r a, H. K u b o, K. T s u t a k i et. al.//AIAA 11 Commun. Satell. Syst. Conf., San Diego, Calif., March 17-20, 1986, New York. - N.Y., 1986. - P. 586-593.
- I45. S h r o f f A.M., T o n n e r e J.C., B r i o n D. Life test results of various impregnated cathode types//IEDM. - 1987. - P. 693-696.
- I46. D o m b r o L., L o n g J. Advanced TWTs for space communications//MILCOM'84. IEEE Milit. Commun. Conf., 1984 Progr. Satell. Commun. Conf. Rec. - N.Y., 1984. - Vol. 1-3. - P. 154-160.
- I47. S a t o h K., S a k u r a i T. Усовершенствованный распределительный катод/JRC Rev. - 1986. - No 24. - P. 59-64.
- I48. Long-life high-reliability Ir-coated dispenser cathode / S. K i m u r a, K. H o m m a, M. N i k a i d o et. al.// IEDM. - 1987. - P. 689-692.
- I49. Long-life high-reliability iridium-coated M-type dispenser cathode / Y. O u c h i, C. K i m u r a et. al.//Toshiba Rev. Int. Ed. - 1987. - No 159. - P. 25-29.
- I50. K o r n f e l d G. Mixed metal cathodes, basic of new generation of high-reliability tube. New results and application// NTG-Fachler. - 1986. - Vol. 95. - P. 138-144.
- I51. G u i d e e P h., T e y s s i e r L. A 850-1000 GHz backward-wave oscillator for advanced applications//Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. - 1985. - Vol. 598. - P. 93-98.
- I52. D e m l D. New satellite TWT at 12 and 20 GHz with 40 to 110 W output power//AIAA 11 Commun. Satell. Syst. Conf., San Diego, Calif., March 17-20, 1986, New York, N.Y., 1986. - P. 594-599.

- I53. В и р и н Я.Л., Д ю б у а Б.Ч., О г о л е в а Н.Ф.
Эффективный миниатюрный металлопористый катод//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 4(418). - С. 42-44.
- I54. Г а л и н а Н.М., Д ю б у а Б.Ч. Ускоренные испытания металлопористых катодов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 225.
- I55. H e n r y D., S a n t o n j a N., W a r t s k i S.
Braze-helix technology for 30 GHz power TWT's//IEDM. - 1986. - P. 505-507.
- I56. Y a n S., Z h o u Z., W u Y. Application of scandium oxide in an electron material//New. front. rate earth. sci. and appl. proc. int. conf. Beijing, Sept. 10-14, 1985. - Beijing, 1985. - Vol. 2. - P. 1476-1480.
- I57. High gradient electron guns / K.S. F a n t, G. G a r y o t a k i s et. al.//XIV int. symp. discharges and electrical insulation in vacuum. Eldorado Hotel, Santa Fe, New Mexico, USA, Sept. 17-20, 1990.
- I58. G i b s o n J.W., H a a s G.A., T h o m a s R.E. Investigation of scandate cathodes: emission, fabrication and activation process//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 209-214.
- I59. R e m s k i R., Z a v a d i l D. 1986 microwave power tube conference//Microwave J. - 1986. - No 6. - P. 32-46.
- I60. Катоды. Ч. II. Металлопористые катоды: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / Е.Г. Г у б а р е в а, О.Ф. К у з н е ц о в а. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - Вып. I2(I20I).
- I6I. Nature of the emitting surface of thermionic cathodes / V. Z i k e s et. al.//Phys. Solid. Surf. 1984. Proc. 3 Symp., Surf. Phys. Smolenice Castle, 3-7 Sept. 1984. - Amsterdam, 1985. - P. 235-236.
- I62. L i - w e i L i n. The role of oxygen and fluorane in the electron emission of some kinds of cathodes//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3(1). - P. 1053-1057.

- I63. T h o m a s R.E. Thermionic sources for HI-brightness electro beams//Int. Symp. Electron Beam Ion Sources and Appl. Upton N.Y. 1988. - New York(N.Y.), 1989. - P. 191-218.
- I64. Y a m a m o t o S. Monoatomic layer on electron emissive materials//Appl. Phys. - 1988. - Vol. 57, No 11. - P. 1734-1741.
- I65. Thermionic sources for high-brightness electron beams / R.E. T h o m a s, J.W. G i b s o n et. al.//IEEE Trans. - 1990. - Vol. ED-37, No 3(2). - P. 850-861.
- I66. M i t a N., S h i m o k a w a K. Reliability improvement and evaluation of TWT's for communications satellites//Proc. ISTFA 1986 Int. Symp. for Testing and Failure Analysis. 1986 Los Angeles, CA-USA 20-24 Oct. (Metals Park OH, USA, ASM Int. 1986). - P. 47-52.
- I67. К о б а y a s h i , Н i g u c h i Т., К и м у р а S. Испарение Ва с поверхности импрегнированного катода, покрытого Ir//J. Vac. Soc. Jap. - 1989. - Vol. 32, No 3. - P. 305-307.
- I68. Б а р а н о в а В.И., В е р е т е н н и к о в В.И., К а н X.C. Исследование механизма деградации катодов газоразрядных приборов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 206.
- I69. С м и р н о в В.А., Т и т о в Ю.В. Исследование процессов деградации металлопористых эмиттеров с различной структурой матрицы//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 173.
- I70. M a r r i a n C.R.K., S h i h A. The poisoning and reactivation kinetics of uncoated tungsten-based dispenser cathodes exposed to water vapour//IEEE Trans. - 1986. - Vol. ED-33, No 11, Pt. 2. - P. 1874-1882.
- I71. В о р о ж е й к и н В.Г., К о з л о в В.И., Н а б о к о в Ю.И. Влияние водорода на эмиссионные свойства металлопористых катодов, покрытых пленкой Os-Ir-Al в контролируемых условиях//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 2. - С. 7-9.

- I72. M a r r i a n C.R.K., S h i h A. The operation of coated tungsten-based dispenser cathodes in nonideal vacuum//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 173-179.
- I73. S h a r m a A.K., C h o p r a A.K., L a t h e w R. Emission poisoning studies on impregnated tungsten dispenser cathode under CO₂ and O₂ environment//Appl. Surf. Sci. - 1989. - Vol. 40, No 1-2. - P. 97-101.
- I74. Электронная пушка с энергией 100 кэВ / Б.С. Ш и х а н о в, М.Ю. Н и к о л ь с к и й, С.П. Р а к и т и н и др.//ИТЭ. - 1987. - № 3. - С. 24-26.
- I75. O e t t i n g e r P.E., B u r s u c I. Emission characteristics and surface phenomena of laser thermionic cathodes//Laser Internat. and Relat. Phenom. Vol. 7. Proc. 7 Int. Workshop, Monterrey, Calif., Oct. 28 - Nov. 1, 1985. New York, London, 1986. - P. 307-314.
- I76. Evaluation of bidirectionally conductory thyratrons for pulsed excimer lasers / G. M c D u f f, R. K e n n e t h et. al.//IEEE Conf. Rec. 16th Power Mod. Symp. - 1984. - P. 288-291.
- I77. О р а н с к и й А.И. Пленочные полые катоды дугового разряда с потоком инертного газа//Источники и ускорители плазмы. - 1984. - № 8. - С. 15-22.
- I78. H a a s C.A., S h i h A. Work function and auger-characteristics of BaO on Rh-Nb substrate mixtures//Appl. Surf. Sci. - 1988. - Vol. 31, No 2. - P. 253-262.
- I79. F a n g C.-S., C h e n J.-R., M a l o n e y C.E. Surface studies of platinum- and niobium-coated impregnated tungsten cathodes//Surf. Sci. - 1987. - Vol. 189/190. - P. 80-90.
- I80. H a a s G.A., S h i h A. Auger characteristics of BaO layers on various substrates//Appl. Surf. Sci. - 1988. - Vol. 31, No 2. - P. 239-252.
- I81. К о с т и к о в Ю.И., Д в о р я н к и н В.Ф., С е м и л е т о в С.А. Модель активно-эмиссионных покрытий Cs-O, Ba-O/Поверхность. Физика, химия, механика. - 1987. - № 6. - С. 138-140.

- I82. А з и з о в К.В., Р е в з и н Л.С., Ш а п и р о Л.М.
Электронно-фотонная эмиссия вольфрама в киловольтной области энергий//Физическая электроника. - Ташкент, 1987. - С. 23-26.
- I83. H e m s t r e e t L.A., C h u b b S.R., P i c k e t t N.E.
Electronic properties of BaO on W(001)//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3. - P. 1063-1066.
- I84. M ü l l e r W. Electronic structure of BaO-W cathode surfaces//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 180-187.
- I85. M ü l l e r W. Summary abstracts: a quantum chemical study of BaO-W cathode surfaces//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3(1). - P. 1072-1073.
- I86. S h i h A., M u e l l e r D.R., H e r n s t r a t L.A.
Synchrotron radiation studies for thermionic cathode research//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 194-200.
- I87. Surface extended x-ray adsorption line structure study of surface BaO layers on tungsten surfaces / A. S h i h, C. H o r, D. M u e l l e r et. al.//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3. - P. 1058-1062.
- I88. A surface EXAFS study of the local coordination of barium atoms at the active-sites of thermionic cathodes / G. T h o r n t o n, I.W. O w e n, C.H. R i c h a r d s o n et. al.//Vacuum. - 1988. - Vol. 4/5. - P. 401-404.
- I89. A synchrotron radiation study of BaO films on W(001) and their interaction with H₂O, CO₂ and O₂ / D. M u e l l e r, A. S h i h, E. R o m a n et. al.//J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 3(1). - P. 1067-1071.
- I90. Surface structure of thermionic-emission cathodes / D. N o r m a n, R.A. T u c k, H.B. S k i n n e r et. al.//Phys. Rev. Letters. - 1987. - Vol. 58. - No 5. - P. 519-522.
- I91. Т у м а р е в а Т.А., К и р с а н о в а Т.С. Распределение по размерам частиц в островковых пленках окиси бария//ФТТ. - 1989. - Т. 31, № 3. - С. 8-13.

192. Lu Q i n g - B i n. New model for the role of oxygen in the emitting surface of the impregnated tungsten cathode//Int. J. Electron. - 1989. - Vol. 67, No 4. - P. 645-655.
193. О роли кальция в металлопористых катодах / В.Л.Ш н ю к о в, Б.И. М и х а й л о в с к и й и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 177.
194. К и р с а н о в а Т.С., Т у м а р е в а Т.А. Влияние толщины пленки окиси бария на кинетику десорбции//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1986. - № 5. - С. 39-46.
195. F o r m a n R. Surface on the low work function surface complex of barium on an osmium-ruthenium substrate//Appl. Surf. Sci. - 1987. - Vol. 29, No 1. - P. 127-142.
196. Г о р о д е ц к и й Д.А., М е л ь н и к Ю.П., С к л я р В.К. Взаимодействие окиси бария с вольфрамом (100)//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1496-1499.
197. Г о р о д е ц к и й Д.А., М е л ь н и к Ю.П., С к л я р В.К. Взаимодействие окиси бария с вольфрамом (100)//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 87.
198. S h r o f f A.M., T o n n e r r e J.C., E r i o n D. Coverage and work function of dispenser cathodes//IED. - 1986. - P. 704-707.
199. К у л т а ш е в О.К., М а к а р о в А.П. Диаграмма состояний для поверхности металлопористого катода//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 119.
200. К у л т а ш е в О.К., М а к а р о в А.П. Механизм старения металlosплавных катодов//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 159.
201. К у л т а ш е в О.К., К у р а н о в а Е.Д., М а к а р о в А.П. Механизм старения металlosплавных катодов//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1619-1622.
202. Структура, работа выхода, скорость испарения и состав поверхности сплавов иридия с церием и тугоплавкими металлами / О.К. Култашев, А.П. Макаров, Б.В. Маркин

- и др.//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 158.
203. Логинов Л.В., Наумкин А.П., Старцев Б.П. Модель работы термоэмиссионного поверхностного сплава иридий-лантана//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 128.
204. Вареха Л.М., Дмитриева В.Н., Резухина Т.Н. Термодинамический подход к оценке долговечности металlosплавных катодов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 8(422). - С. 39-43.
205. Тартаковский В.М., Васильев Г.А., Бугакова А.В. Термоэмиссионные свойства катодов на основе иридий-мишметалл и иридий-лантан-церий//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 4(428). - С. 43-45.
206. Гудович В.А., Доценко С.Р., Журавлев А.В. Сильноточный источник электронов с термоэмиссионным катодом//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. I. - С. 243-245.
207. Изменение состава и структуры поверхности Pd-Ba эмиттера в процессе водородно-вакуумной термической обработки /Н.П.Есaulov, В.Н.Барышев, В.Н.Ильин и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 214.
208. Нормуратов М.Т., Умирзаков Б.Е., Унаров Э. Термоэлектронная эмиссия и сплава Pd-Ba, легированных атомами бария//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 217.
209. Ашкинази Л.А. Модель процессов на поверхности пленочного катода//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1988. - № I. - С. 36-39.
210. Дмитриева В.Н., Резухина Т.Н., Вареха Л.М. Выбор состава металlosплавного катода с помощью термодинамических расчетов//XIX Всес. конф. по эмиссионной электронике. Секции I, II, УП. - Ташкент, 1984. - С. 107.
211. Исследование термоэмиссионных свойств монокристаллов гексаборида лантана (I00) в вакуумном диоде с узким межэлектродным

- зазором / А.В. Булыга, Н.Ф. Капустин, В.К. Солонович и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1986. - № 2. - С. 13-17.
212. Булыга А.В., Падерно Ю.Б. Перспективы использования гексаборида лантана в термоэмиссионных преобразователях энергии//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 122.
213. Дудло Ю.Г. Структура и работа выхода граней гексаборида лантана//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 80.
214. Ориентированное выращивание и анизотропия эмиссионных свойств монокристаллов гексаборида лантана / В.И. Лазоренко, Д.В. Лоцко, В.Ф. Платонов и др.//Порошковая металлургия. - 1987. - № 3. - С. 51-57.
215. Davis P.R., Schwind G.A. Low work function emitter electrodes for advanced thermionic converters//Appl. Surf. Sci. - 1986. - Vol. 25, No 4. - P. 355-363.
216. Mogren S., Reifemberger R. Thermionic and threshold photoemission energy distribution from $\text{LaB}_6(110)$ //Surf. Sci. - 1987. - Vol. 186, No 1/2. - P. 232-246.
217. An atom-probe analysis of the $\text{LaB}_6(001)$ plane / K. Murakami, T. Adachi et. al.//Surf. Sci. - 1986. - Vol. 186, No 1/2. - P. 327-335.
218. Lanthanum hexaboride (LaB_6) resistivity measurement / M.D. Williams, L.T. Jackson, D.L. Kipprenhan et. al.//Appl. Phys. Lett. - 1987. - Vol. 50, No 25. - P. 1844-1845.
219. Материал для катодных элементов сильнотоочных импульсных устройств и его эмиссионные свойства / С.С. Орданьян, Е.Е. Николаева и др.//Тез. докл. VI Всес. симп. по сильнотоочной электронике. - Ч. I. - Томск, 1986. - С. 58-60.
220. Орданьян С.С., Нйколаева Е.Е., Козловский Л.В. Взаимодействие в системах LaB_6 - W_2 //Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1984. - Т. 20, № II. - С. 1821-1824.

221. Работа пеннинговского источника Дудникова с катодами из LaV_6 / К.Н. Леунг, Г.Дж. Деври, К.В. Элерс и др. // Приборы для научных исследований. - 1987. - № 2. - С. 68-73.
222. Электронная пушка с прямонакальным низкоомным катодом из LaV_6 / Б.Н. Васичев, Ю.Л. Рыбаков и др. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 7. - С. 1254-1257.
223. Ануфриев В.Р., Черкасский Н.В. Малогабаритный высокотемпературный катодный узел с электронным подогревом // ПТЭ. - 1988. - № 4. - С. 128-130.
224. Испытания коаксиальных LaV_6 -катодов в режиме непрерывного разряда / С. Танака, К.Н. Леунг и др. // Приборы для научных исследований. - 1988. - № 1. - С. 101-106.
225. Зигрист К., Браун М., Беллан П. Простой высокоточный LaV_6 -катод // Приборы для научных исследований. - 1989. - № 5. - С. 147-148.
226. Лазоренко В.И., Симан Н.И. Эмиссионные свойства некоторых тройных соединений боридов РЗМ // Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 1. - С. 132.
227. Исследование степени совершенства кристаллической структуры монокристаллов LaV_6 / А.В. Ковалев, В.А. Ткаченко, А.А. Таран и др. // Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1989. - Т. 25, № 6. - С. 968-971.
228. О возможности получения чистых боридов редкоземельных металлов / А.В. Ковалев, В.Н. Минаков и др. // Порошковая металлургия. - 1988. - № 9. - С. 46-50.
229. Термоэмиссионные свойства тонких пленок гексаборидов некоторых щелочно- и редкоземельных металлов / А.М. Васильев, В.Г. Блохин, В.А. Зимин и др. // Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1985. - № 10. - С. 28-30.
230. Васильев А.М., Бессараба В.И., Шагинян Л.Р. Термоэмиссионные свойства тонких пленок гексаборидов бария и кальция // Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 1. - С. 104.
231. Активирующее влияние La -содержащих соединений на металлокерамические катоды / А.В. Самков, Г.А. Семанова, Н.В. Пароль и др. // Тез. докл. XX Всес. конф. по эмисси-

- онной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 135.
232. Васильев А.М., Блохин В.Г. Механизм активации тонкопленочных структур на основе гексаборида лантана//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 103.
233. Селезнев В.А., Васильев А.М., Бессараба В.И. Исследование эмиссионных характеристик тонкопленочных эмиссионных структур на основе гексаборидов редкоземельных металлов цериевой подгруппы//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 139.
234. Особенности термоэмиссионных свойств монокристаллов GdB_4 и Gd_2B_6 / Е.К. Островский, А.А. Таран, А.В. Ковалев и др.//Порошковая металлургия. - 1990. - № 3. - С. 75-80.
235. Comparison of thermionic cathode parameters of low index single crystals faces of LaB_6 , CeB_6 and PrB_6 / P.R. Davis, M.A. Gesley, G.A. Schwind et. al.// Appl. Surf. Sci. - 1989. - Vol. 37, No 4. - P. 381-394.
236. Tennant D.M. The effect of LaB_6 cathode shape on its performance in a IB X 5 DII electron beam lithography system// J. Vac. Technol. - 1989. - Vol. B 7, No 1. - P. 93-97.
237. Высокотемпературное окисление спеченного гексаборида лантана / Ю.Г. Гогоци, Д.В. Котляр и др.//Порошковая металлургия. - 1987. - № II. - С. 56-59.
238. Взаимодействие грани (III) гексаборида лантана с кислородом / П.П. ГородецкиЙ, А.С. Кошелюк, Ю.П. Мельник и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1987. - № 8. - С. 27-32.
239. К вопросу об импульсной эмиссии гексаборидлантанового термокатода / Д.В. Иремашвили, В.И. Подгорный и др.//Радиотехника и электроника. - 1988. - Т. 33, № 6. - С. 1330-1331.
240. Davis P.R., Schwind G.A., Swanson L.W. The effect of oxygen pressure on volatility and morphology of LaB_6 single crystal cathodes//J. Vac. Technol. - 1986. - Vol. B 4, No 1. - P. 112-115.

241. Zhang Q i a n g j i . Исследование снижения эмиссии LaB_6 -катода с помощью Оже-спектроскопии//Acta Electron. Sin. - 1989. - Vol. 17, No 5. - P. 115-117.
242. Катодное распыление материалов на основе гексаборида лантана / В.В. Морозов, В.С. Кресанов, В.А. Шлюко и др.//Модели электронного строения и физико-химические свойства тугоплавких соединений и сплавов. - Киев, 1985. - С. 149-153.
243. Лесняков Г.Г. К явлениям на поверхности гексаборида лантана при бомбардировке ионами водорода и гелия//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1989. - № 5. - С. 147-150.
244. Изменение эмиссионных свойств монокристалла гексаборида лантана при имплантации ионов кислорода / Е.К. Островский, А.А. Таран, А.В. Ковалев и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 231.
245. Кузнецова Г.М., Перминова В.М. Спектральный метод определения примесей в монокристаллическом гексабориде лантана//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1985. - 1985. - № 8. - С. 35-38.
246. Влияние условий получения на коррозионную стойкость порошков гексаборида лантана и изделий из них /Ю.Б. Падерно, А.В. Ткач, Е.М. Дудник и др.//Порошковая металлургия. - 1985. - № 5. - С. 61-65.
247. Структура и морфология дисперсных порошков гексаборида лантана и компактных образцов из них /Л.В. Страшинская, Е.М. Дудник и др.//Порошковая металлургия. - 1986. - № 5. - С. 79-83.
248. Курсукова М.М., Гурин В.Н. Физико-химические проблемы получения бездефектных монокристаллов гексаборида лантана//Успехи химии. - 1987. - Т. 56, № 1. - С. 3-28.
249. Li X u e d a n, W a n Y i n g e h a o. Preparation of LaB_6 thin film by D.S. sputtering and film analysis//J. Zhejiang Univ. - 1986. - Vol. 20, No 1. - P. 53-61.
250. Термоэмиссионный источник электронов для управляемого термоядерного синтеза / А.А. Кузьмин, Г.И. Кленов, С.В. Лебедев и др.//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. 2. - С. 169-171.

251. Крупногабаритные термо- и формоустойчивые катоды сильноточных инжекторов / Л.В. Логинов, А.Н. Наумкин и др.// УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. I. - С. 149-151.
252. Исследование свойств термоэммиттеров из LaB_6 , изготовленных методом плазменного напыления / Г.И. Алексеев, И.Я. Аристова, И.К. Батрак и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1985. - № 8. - С. 7-12.
253. Эмиссионные свойства плазмонапыленных гексаборидлантановых термокатодов / Г.И. Алексеев, И.Я. Аристова, И.К. Батрак и др.//Тез. докл. XIX Всес. конф. по эмиссионной электронике. Секции I, II, УП. - Ташкент, 1984. - С. 141.
254. Повышение экономичности крупногабаритных термоэммиттеров из гексаборида лантана / И.Я. Аристова, Г.И. Алексеев и др.//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. I. - С. 152-154.
255. Многоструйный инжектор РЭП со сферическим катодом / Е.К. Ерощенков, М.А. Завьялов, В.Д. Ильюшин и др.//Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. 2. - Томск, 1987. - С. 61-63.
256. Сильноточный многоструйный инжектор РЭП с электростатическим формированием / Е.К. Ерощенков, А.Н. Ермилов, М.А. Завьялов и др.//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. 2. - С. 39-40.
257. Квазистационарный ускоритель электронов с термокатодом / Л.Ю. Загуров, С.И. Котляров и др.//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. 2. - С. 177-179.
258. Термоциклирование и эмиссионная однородность монокристаллов гексаборида лантана / А.А. Таран, Ю.Б. Падерно и др.//Тез. докл. XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Ч. I. - Киев, 1987. - С. 151.
259. Крупногабаритный композиционный термоэммиттер из LaB_6 для мощного диодного источника электронов / Г.И. Алексеев, А.Н. Бишаев, Г.И. Кленов и др.//Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. - Томск, 1986. - С. 55-57.

260. Морозов В.В. Оптимизация состояния и структуры эмиссионных материалов на основе гексаборидов//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1989. - № 3. - С. 62-64.
261. Getty W.D., Ashraf A. Current density distribution measurements from lanthanum hexaboride cathodes//Conf. Res. 1984 IEEE Int. Conf. on Plasma Sci. St. Louis MO USA 14-16 May 1984, New York. - 1984. - P. 66-67.
262. Haerniter M.E., Getty W.D. Thermionic cathode electron gun for high current densities//IEEE Trans. - 1987. - Vol. PS-15, No 44. - P. 351-360.
263. Инжектор из гексаборида лантана с электронным разогревом для микротрона трехсантиметрового диапазона //А.Ю. Балаев, А.А. Вишневский, В.Н. Дудкин и др.//ПТЭ. - 1990. - № 6. - С. 172-173.
264. Леунг К.Н., Мусса Д., Уайлд С.Б. Катод прямого накала из гексаборида лантана//Приборы для научных исследований. - 1986. - № 7. - С. 25-28.
265. Ашкинази Л.А., Ермилов А.Н., Логинов Л.В. Новый подход к созданию эффективных высокотемпературных катодно-подогревательных узлов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 226.
266. Влияние массопереноса с электродов на эмиссионные свойства гексаборида лантана / Е.К. Островский, Ю.П. Нещеретый, В.Н. Падерно и др.//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 155.
267. Островский Е.К., Нещеретый Ю.П., Падалка В.Г. Отравление и катодное распыление эмиттеров из гексаборида лантана//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 154.
268. Алексеев Г.И., Бишаев А.М., Калабухов В.А. Ресурсные характеристики термокатодов мощных электронных диодов//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. - Новосибирск, 1988. - Т. 2. - С. 240-242.

269. H o h n F.J. Development and use of high brightness lanthanum hexaboride electron guns//Scanning Electron Microsc. - 1985. - Pt. 4. - P. 1327-1338.
270. S e w e l l P.D., D e l a g e A. Thermionic emission studies of microflat single crystal lanthanum hexaboride cathodes// Scanning Electron Microsc. - 1986. - P. 163-170.
271. Об особенностях импульсной термоэмиссии гексаборидлантанового и металлопористого оксидно-никелевого катода / А.И. Гончарук, Д.В. Иремашвили, З.А. Конджария и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровakuумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 4. - С. 8-12.
272. Като́ды. Ч. III. Холодные и боридные катоды: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / А.В. Иванова, И.А. Светликина, О.Ф. Кузнецова. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - Вып. I4(I2I0).
273. Высокоэффективный эмиттер электронов на основе гексаборида лантана / В.С. Кресанов, Н.П. Малахов, В.В. Морозов и др. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
274. Савас С.Е., Пайл Р.В., Беркнер К.Г. Получение однородной плазмы при помощи импульсного разряда с термоэлектронным катодом из LaB_6 //Приборы для научных исследований. - 1986. - № II. - С. 41-47.
275. Богатырев О.А., Минаков В.И., Никитенский В.А. Использование горячего полого катода в электронной пушке//Тез. докл. У Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. III. - Томск, 1984. - С. 204-206.
276. Гнесин Г.Г., Левченко Г.В., Лубан Р.Б. Новые электродные материалы для газоразрядных камер технологических лазеров//Электронная промышленность. - 1989. - № 2. - С. 35.
277. Влияние включений LaB_6 в материале катода на его эрозию и параметры импульсного дугового разряда / В.И. Кржижановский, А.И. Кузьмичев, Г.В. Левченко и др.//ТВТ. - 1989. - Т. 27, № 6. - С. 1219-1221.
278. Новиков А.А. Исследование источников электронов с холодным катодом на основе разрядов низкого давления в электростатических полях: Автореферат диссертации. - Киев, 1968.

279. Thermionic cathode materials for ion sources / H. H a g i w a - r a, S. Y a m a d a et. al.//KEK Report. - 1988. - No 88-7. - P. 137-146.
280. Screened LaB₆ cathode for DC-PDP / E. M u n e m o t o, K. Y o h d a et. al.//Conf. Rec. of the 1988 Int. Display Research Conf. San Diego CA, USA, 4-6 Oct., 1988, New York. - N.Y., 1988. - P. 114-117.
281. Молчанов Ю.К., Пошехонова Т.В., Чижиков А.Е. Исследование характеристик толстопленочных холодных катодов на основе гексаборида лантана//Тез.докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 267.
282. Кислородно-цезиевые покрытия на грани (III) LaB₆ / Д.А. Г о р о д е ц к и й, А.С. К о ш е л ю к, Ю.П. М е л ь н и к и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1987. - № 7. - С. 38-43.
283. Структура и работа выхода пленок цезия на грани (001) гексаборида лантана / Д.А. Г о р о д е ц к и й, Ю.Г. Ш у д л о, А.А. Я с ь к о и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1985. - № 3. - С. 123-126.
284. Влияние включений LaB₆ в материале катода на форму дугового разряда / В.А. Ж о в т я н с к и й, Г.В. Л е в ч е н к о и др.//ЖТФ. - 1987. - Т. 57, № 2. - С. 358-361.
285. Влияние включений LaB₆ в катоде на эрозию его поверхности в дуговом разряде / Г.В. Л е в ч е н к о, Р.Б. Л у б а н, И.А. В е р х о в о д о в и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1983. - № 5. - С. 130-133.
286. Эрозия катодного композиционного материала с включениями эмиссионно-активной фазы в дуговом разряде / М.И. Б у л е е в, Г.Г. Г н е с и н, Г.В. Л е в ч е н к о и др.//УИ Всес. конф. по физике низкотемпературной плазмы. - Л., 1983. - Т. I. - С. 219-221.
287. Исследование изменений поверхностного состава и эмиссионной активности иттрий-лантанового катода при термообработке / С.Г. Д м и т р и е в, В.В. Г р и г о р ь е в и др.// XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. С. 165.

288. Исследование изменений поверхностного состава иттрий-лантанового катода при термообработке / С.Г. Дмитриев, В.В. Григорьев и др.//МТФ. - 1988. - Т. 58, № 3. - С. 622-624.
289. Капустин В.И., Шестов В.П. Исследование технологии изготовления катодов типа Ta-Y₂O₃ методом ВМС//Физика твердого тела (Харьков). - 1989. - № 19. - С. 85-87.
290. Капустин В.И., Марин В.П., Шестов В.П. Кинетика взаимодействия высокочистого вольфрама с окисью иттрия//Высокочистые вещества. - 1988. - № 5. - С. 47-50.
291. Бронза Л.А., Дмитриев С.Г., Силантьева О.В. О статических вольт-амперных характеристиках иттрий-лантанового катода//Радиотехника и электроника. - 1986. - Т. 31, № 5. - С. 1042-1044.
292. Подгорный В.И. Формирование термоэмиссионной активности катодов из монокристаллов тугоплавких окислов: Автореферат диссертации. - М.: ИРЭ АН СССР. - 1987.
293. Барбараш Д.С., Журавлева Р.В. Механические свойства вольфрамовой торированной карбидированной проволоки и ее сварных соединений//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 3. - С. 52-55.
294. Барбараш Д.С., Журавлева Р.В. Механические свойства вольфрамовой торированной карбидированной проволоки при динамических нагрузках//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 3. - С. 71-72.
295. Гоголев Г.П., Прилуцкий В.С., Радченко Л.А. Анализ и определение характеристик проволок для вольфрамовых торированных карбидированных катодов//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1990. № 1. - С. 82-85.
296. Барбараш Д.С. Расчет прочности решетчатых катодов при статических нагрузках//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 3. - С. 49-52.
297. Барбараш Д.С. Расчет прочности решетчатых катодов при динамических нагрузках//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 3. - С. 68-70.

298. Эпштейн М.С. Расчет эмиссионного ресурса вольфрамовых торированных карбидированных катодов//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 2. - С. 19-22.
299. Гоголев Г.П., Радченко Л.А., Соловьев Н.Б. Оптимизация управления процессами карбидирования и активирования вольфрамового торированного катода//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 2. - С. 44-47.
300. A E-beam controlled diffuse discharge switch / K.H. Schoenbach, G. Schaefer, M. Kristiansen et. al.// IEEE Conf. Rec. 16-th Power Mod. Symp., 1984, N.Y. - P. 152-157.
301. Технология изготовления вольфрамового карбидно-ториевого катода: Обзоры по электронной технике. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы / Г.П. Гоголев, Ю.К. Лесиш, Л.А. Радченко. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1987. - № 3.
302. О влиянии технологических факторов на состав, структуру и эмиссионные свойства катодов из торированного вольфрама / Г.Л. Брусиловский, Л.М. Антонова, О.Н. Васильева и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 3. - С. 3-10.
303. Noonan J.R., Davis H.L., Gruzalski G.R. Electronically driven reconstruction of TaC (100)//J. Vac. Sci. Technol. - 1987. - Vol. A 5, No 4(1). - P. 787-789.
304. Jansen S.A., Hoffman R. Surface chemistry of transition metal carbides: a theoretical analysis//Surf. Sci. - 1988. - Vol. 197, No 1/2. - P. 474-508.
305. Yada K., Shimoyama H. Brightness characteristics of carbide emitters for electron microscopy//J. Electron. Microsc. - 1985. - Vol. 34, No 3. - P. 147-155.
306. Yada K. Researches of cathode materials for thermionic emission//J. Electron. Microsc. - 1986. - Vol. 35, Suppl., No 1. - P. 227-230.

307. Mackie W.A., Davis P.R. Single-crystal zirconium carbide as a high-temperature thermionic cathode material// IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 220-224.
308. Исследование физических свойств карбидметаллических сплавов / В.С. Нешпор, Б.В. Фридлендер, П.А. Комозынский и др.// Порошковая металлургия. - 1990. - № 6. - С. 93-100.
309. Zaima S., Adachi H., Shibata Y. Promising cathode materials for high brightness electron beams//J. Vac. Sci. Technol. - 1984. - Vol. B 2, No 1. - P. 73-78.
310. Thermionic cathode materials for ion sources / H. Hagiwara, S. Yamada et. al.//Proc. of the symp. on negative ion sources and their applications. Ibaraki, Japan, 5-6 Apr., 1988 (Ibaraki, Japan, Nat. Lab. High Energy Phys., 1988). - P. 137-146.
311. Studies of refractory carbides, nitrides and borides as the thermionic emitters for electron microscopy / K. Yada, H. Masaoaka et. al.//J. Electron. Microsc. Techn. - 1989. - Vol. 12, No 3. - P. 252-261.
312. Казанцев А.П. Исследование поверхности карбидометаллического сплава карбид циркония - вольфрам методом электронной Оже-спектроскопии//ЭФ. - 1987. - Т. 57, № 7. - С. 1450-1452.
313. Lindberg P.A.P., Johanson L.I. Work function and reactivity of some crystals faus of substoichiometric transition-metal carbides//Surf. Sci. - 1988. - Vol. 194, No 1/2. - P. 199-204.
314. Влияние электроискрового легирования поверхности молибдена и ниобия на термоэлектронную эмиссию / Ю.М. Горячев, Л.П. Исаева и др.//Электронная обработка материалов. - 1987. - № 4. - С. 12-15.
315. Аршинов К.И., Стефановская Е.М., Федорин В.П. Термоэмиссионные свойства нитрида циркония, облученного ионами цезия//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1986. - № 6. - С. 121-124.

316. Влияние состояния поверхности на эмиссионные свойства нитрида циркония / А.С. В а н д е р, И.А. Б р ы т о в, В.С. Н е ш - п о р и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1986. - № 4. - С. 119-122.
317. К и с л и ц ы н А.П., О с т р о в с к и й Е.К., Б а р а - н о в Н.С. Эмиссионные свойства нитрида циркония в вакууме и цезии//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 222.
318. Применение металлокерамических катодов на основе вольфрама с присадкой скандата бария в дуговом разряде / В.И. Б а р а - н о в а, В.А. К о н о в а л о в и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1985. - № 3. - С. 19-21.
319. Б а р а н о в а В.И., К о н о в а л о в В.А., Ш а б у р - к и н а В.И. Металлокерамические катоды на основе вольфрама со скандатом бария для газоразрядных приборов//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1984. - № 6. - С. 34-35.
320. Новые электродные композиционные материалы для источников высокоинтенсивного света / В.И. Б а р а н о в а, А.П. Л е в а - ш о в и др.//Электронная промышленность. - 1986. - № 10. - С. 65-66.
321. Б а р а н о в а В.И., Ш а б у р к и н а В.И. Катоды на основе никеля с алумосиликатом цезия, их качество и работа в лампах-вспышках//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1987. - № 3. - С. 57-58.
322. M e t s e l a a r R., T h i j s P.J.A., W o l f f L.R. Properties of Al_2O_3 - Cr_2O_3 -Mo cermets for use as thermionic emitter materials//Sci. Sintering. - 1985. - Vol. 17, No 1-2, P. 97-102.
323. Г у р а л ь н и к Н.И., Е в с т а ф ь е в В.В., И м а н - г у л о в а Н.Г. Термоэмиссионные свойства вольфрама с присадками оксидов РЗМ//Порошковая металлургия. - 1988. - № 5. - С. 42-45.
324. P e n d e r s - V a n k o v a E., G u b b e l s G.H.M., W o l f f L.R. Measuring thermionic emission of $W-Al_2O_3$ and $W-LaCrO_3$ cermets//High Temp. High Pressures. - 1986. - Vol. 18, No 6. - P. 689-696.

325. принципы разработки и практика применения катодов для газоразрядных приборов / Х.С. Кан, Л.П. Дроздецкая, В.И. Баранова и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 204.
326. Мойжес Б.Я., Немчинский В.А. Скорость испарения присадки и режим работы активированного катода плазмотрона//ЖТФ. - 1984. - Т. 54, № 6. - С. 1076-1084.
327. Высокотемпературный оксидный катод на основе системы графит-бария - вольфрам / А.А. Таран, Е.К. Островский и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 212.
328. Влияние способа введения кислорода на эмиссионные свойства ниобия / Б.Б. Шишкин, И.С. Омельчук, С.Н. Воронков и др.//Физика и химия обработки материалов. - 1987. - № 5. - С. 76-81.
329. Кокосадзе Т.С., Цакадзе Л.Н., Цхакая В.К. Исследование имплантированного ионами кислорода поликристаллического ниобия в качестве электродов термоэмиссионного преобразователя//ЖТФ. - 1986. - Т. 56, № 5. - С. 929-931.
330. Кислицын А.П., Баранов М.С. Термоэмиссионные свойства некоторых материалов в цезиевом низковольтном разряде//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 203.
331. Процессы массопереноса и изменения структуры поверхности кристаллов. Ч. I: Обзоры по электронной технике. Сер. 7, Технология, организация производства и оборудование / Г.Н. Шуппе, И.В. Закурдаев. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1983. - № 7.
332. Процессы массопереноса и изменения структуры поверхности кристаллов. Ч. II: Обзоры по электронной технике. Сер. 7, Технология, организация производства и оборудование / Г.Н. Шуппе, И.В. Закурдаев. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1983. - № II.
333. Купоросов В.В., Шуппе Г.Н. О возможности униполярного электропереноса вещества в катодах, накаливаемых переменным током//Вакуумная и газоразрядная электроника. - Рязань: РРТИ, 1983. - С. 46-48.

334. Ч а д а е в Н.Н. Плотность тока термоэлектронной эмиссии при перегреве электронного газа в приповерхностном слое металла//Вакуумная и газоразрядная электроника. - Рязань: РРТИ, 1984. - С. 122-125.
335. П у с т о г а р о в А.В., З а в и д е й В.И., П о в а л я е в О.А. Температура термоэмиссионных дуговых катодов//ЭТФ. - 1988. - Т. 58, № 6. - С. 1128-1133.
336. Д ю ж е в Г.А., З и м и н А.М., Х в е с ю к В.И. Термоэмиссионные катоды//Плазменные ускорители и ионные инжекторы. - М.: Наука, 1984. - С. 200-217.
337. О стабильности активной присадки в катодах газоразрядных ламп высокого давления / В.И. Б а р а н о в а, Л.Г. Г е р а с и м о в а, Г.С. Л е о н о в и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровacuумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 1. - С. 3-6.
338. Mass transfer at thermionic arc cathodes / A.F. Z h u k o v, A.V. P u s t o g a r o v et. al.//Contrib. Plasma Phys. - 1989. - Vol. 29. - No. 3. - P. 315-324.
339. А р е ф ь е в А.С. Физическая модель распыления катодов газоразрядных знаковинтезирующих индикаторов//Электронная техника. Сер. 4, Электровacuумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 4. - С. 18-20.
340. Б а с к и н А.М., В и р о л а й н е н Э.И., Г у с е в А.Н. Структурные изменения поверхности никелевого катода в процессе его тренировки импульсным тлеющим разрядом//Электронная техника. Сер. 4, Электровacuумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 4. - С. 70-73.
341. К о р ж а в н ы й А.П., К р и с т я В.И. Особенности формирования эмиссионной поверхности холодного катода для обеспечения его долговременной работы в квантовом приборе//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1991. - № 6. - С. 48-49.
342. П у с т о г а р о в А.В., К у ч е р о в Я.Р., П о в а л я е в О.А. Процессы массопереноса на термоэмиссионных дуговых катодах//ТВТ. - 1988. - Т. 26, № 2. - С. 226-233.
343. Mass transfer at thermionic arc cathodes / M.F. Z h u k o v, A.V. P u s t o g a r o v et. al.//Contrib. Plasma Phys. - 1989. - Vol. 29, No 3. - P. 315-324.

344. Структура поверхности и работа выхода электронов дуговых электродов / В.Ф. Гордеев, А.В. Пустогаров, Я.Р. Кучеров и др.//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1985. - № II. - С. 74-78.
345. Об эрозии катода дуги низкого давления / И.И. Аксенов, И.И. Коновалов, В.Ф. Першин и др.//ТВТ. - 1988. - Т. 26, № 3. - С. 441-444.
346. Влияние примеси кислорода в гелии и аргоне на работу вольфрамового катода / А.В. Пустогаров, В.И. Прасолов, О.А. Поваляев и др.//ТВТ. - 1989. - Т. 27, № 4. - С. 792-796.
347. Серегин С.М. Работоспособность графитового катода в среде $O_2 + CH_4$. - Деп. ВИНТИ 11.04.90, № 2022-B90.
348. Коржавый А.П., Кристья В.И., Прасицкий В.В. О влиянии шероховатости эмитирующей поверхности холодного катода на его долговечность//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1990. - № 3. - С. 15-19.
349. Танака С., Охара И. Прямокальный вольфрамовый катод переменного сечения с большим сроком службы//ПНИ. - 1984. - № 10. - С. 102-109.
350. Гордеев В.Ф., Пустогаров А.В. Термоэмиссионные дуговые катоды. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
351. Ошима С. Развитие источников электронной эмиссии// J. Vac. Soc. Jap. - 1987. - Vol. 30, No 12. - P. 994-996.
352. Королев С.В., Клейменов В.С., Лазарев В.Н. Автоматизированная система для контроля качества термоэмиссионных материалов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. I(395). - С. 50-53.
353. Королев С.В., Деев В.Н., Киселев А.Б. Влияние эмиссионной неоднородности при повышенном токоотборе// XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 112.
354. Экспресс-определение работы выхода материала с помощью ЭВМ / Е.В. Орлянская, Б.А. Кочетов, В.Н. Буданова В.Н. и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 3. - С. 12-14.

355. Многопозиционное устройство для индивидуальной тренировки катодов электронно-лучевых приборов / В.Н. Б у д а н о в а, Л.П. Г е л е м е е в а, Н.В. П а р о л ь и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1984. - № 4. - С. 32-35.
356. К о р о л е в С.В., К л е й м е н о в В.С., Л а з а р е в В.Н. Эмиссионно-спектральный метод исследования термоэмиссионных материалов//УП Всес. симп. по сильноточной электронике. Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. I. - С. 155-156.
357. К о р о л е в С.В., К л е й м е н о в В.С., Л а з а р е в В.Н. Эмиссионно-спектральный метод анализа поверхности / Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 210.
358. К о р о л е в С.В. Методика аттестации термоэмиссионных материалов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 211.
359. Б у л ь п а А.В., С о л о н о в и ч В.К. Об аномалиях сильнонеравновесных процессов переноса и преобразования теплоты в вакуумных термоэмиссионных преобразователях//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1990. - № 2. - С. 3-6.
360. T u r v e y K. Test of validity of Maxwellian statistics for electrons thermionically emitted from an oxide cathode//Eur. J. Phys. - 1990. - Vol. 11, No 1. - P. 51-59.
361. К а с з м а р с з y k J. Nowa metoda badania termokatod//Pr. OBREP. - 1987. - No 3. - P. 54-60.
362. Исследование эмиссионной однородности эффективных термокатодов/ Е.А. А с т а х о в а, А.И. И в а н о в, В.Н. И л ь и н// Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 213.
363. Г у р к о в Ю.В., П о ж и д а е в В.Н. Импульсная эмиссионная микроскопия эффективных термокатодов//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 121.
364. Ц ы м б а л о в Г.М. Теоретическое исследование распределения плотности тока термоэмиссии в пространстве плоского диода с неравномерно нагретым эмиттером//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 145.

365. Парлапански М. Влияние микрогеометрии поверхности на эмиссионные параметры металлических эмиттеров//Радистехника и электроника. - 1988. - Т. 33, № 2. - С. 371-379.
366. Girardan - Montant J.P., Girardan - Montant C. Space-charge-limited current density as a function of electron flow duration in an emissive diode// J. Appl. Phys. - 1989. - Vol. 65, No 8. - P. 2889-2895.
367. Камерцель А.Ю., Карпухин С.В. Установка для контроля свойств термокатодов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 3(407). - С. 44-45.
368. Yang De - qing, Chen Ergang. A new method of measuring the work function of materials//Acta Phys. Sin. - 1988. - Vol. 37, No 12. - P. 2017-2022.
369. Naase C., Rozenzweig Z., Asscher H. A modified diode method for measuring work function change// J. Vac. Sci. Technol. - 1988. - Vol. A 6, No 6. - P. 3163-3164.
370. Автоматизированная система измерения работы выхода с датчиком Кельвина для применения в условиях сверхвысокого вакуума / И. Байки, К. ван дер Верф, Х. Урбекке и др.//Приборы для научных исследований. - 1989, № 5. - С. II4-II8.
371. Usami S. Measurement of work function by means of the Kelvin method//Appl. Phys. - 1988. - Vol. 57, No 11. - P. 1783-1784.
372. Писаренко С.П., Харитонов В.П. Диагностика электровакуумных приборов по динамике эмиссии, вакуума и тепло-физических характеристик//Совр. методы обесп. качества и надежн. эл. приб. - М.:МНТП, 1990. - С. 47-49.
373. Исследование режимов обезгаживания ЭОС и активирование катодов в процессе вакуумной обработки / Т.П. Деметиевская, Ю.В. Мохов и др.//Электронная техника. Сер. 4, Электро-вакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № I. - С. 69-71.
374. Прилуцкий В.С. Увеличение долговечности решетчатого катода за счет улучшения токоотбора//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 3. - С. 82-88.

375. К о л о б к о в Ю.Г. Прибор для измерения токов насыщенным термоэлектронным эмиттером//Проспект ФЭИ. - Обнинск, 1989. - № 2032.
376. Исследование вольт-амперных характеристик вакуумных диодов с помощью асимптотических методов / И.А. Ж в а н и я, А.П. К а ш и н и др.//Радиотехника и электроника. - 1991. - Т. 36, № 1. - С. 169-172.
377. Б у л ь г а А.В., С о л о н о в и ч В.К. Работа выхода электронов монокристаллов вольфрама и гексаборида лантана//Высокочистые вещества. - 1990. - № 3. - С. 74-79.
378. Автоматизированная установка для измерения эмиссионных характеристик катодов / В.Н. В о л к о в, С.П. Х о д н е в и ч и др.//Электронная промышленность. - 1990. - № 7. - С. 27-28.
379. Автоматизированный комплекс для диагностирования КПУ ЦЭЛТ / Н.В. Д е м и н а, В.В. И в а н о в и др.//Электронная промышленность. - 1990. - № 7. - С. 53-54.
380. К о с а р е в В.М., П о г о р е л ь с к и й Н.Н., Х о д н е в и ч С.П. Контроль эмиссионных свойств катодов по токовым кривым//Электронная промышленность. - 1990. - № 7. - С. 47-49.
381. Р ы к у н о в В.В., Х о д н е в и ч С.П., М е д в е д е в а Т.А. Установка для измерения электронной температуры катодов//Электронная промышленность. - 1990. - № 7. - С. 49-53.
382. Реализация метода Монте-Карло для моделирования на ЭВМ неоднородной поверхности эмиттера электронов / А.Ф. Г о л у б е н ц е в, А.С. Ш а п о в а л о в и др.//Вопросы электроники СВЧ. - 1986. - № 17. - С. 33-37.
383. Д е н и с о в Ю.И. Эмиссионные и шумовые свойства неоднородных эмиттеров. - Саратов: СГУ, 1986.
384. Г о л у б е н ц е в А.Ф., М а л о з е м о в Ю.А., Д е н и с о в Ю.И. К вопросу имитационного моделирования эмиссионных свойств неоднородных катодов//Вопросы электроники СВЧ. - 1985. - № 15. - С. 8-11.
385. Д е н и с о в Ю.И. Статистическое моделирование неоднородной эмитирующей поверхности//Вопросы электроники СВЧ. - 1985. - № 14. - С. 13-15.

386. Баранов В.И., Петросов В.А. О причинах снижения тока в диоде с катодом из LaB_6 //Письма в ЖТФ. - 1986. - Т. 12, № 17. - С. 1045-1048.
387. Баранов В.И., Петросов В.А. О механизме снижения тока в вакуумном диоде с катодом из LaB_6 //ЖТФ. - 1987. - Т. 57, № 9. - С. 1735-1740.
388. Метод измерения эмиссионного тока при нулевой напряженности электрического поля на катоде / А.В. Гостев, В.А. Маштакова и др.//Радиотехника и электроника. - 1986. - Т. 31, № 10. - С. 2052-2055.
389. Азизов Э.Э., Бабаяев В.Г., Маштакова В.А. Анализ вольт-амперных характеристик плоскосимметричного диода в области задерживающих потенциалов//Изв. вузов. Сер. Радиофизика. - 1988. - Т. 31, № 1. - С. 103-109.
390. Голоскокова Л.Ю. Анализ кривых задержки эмиссионных токов: Автореф. дисс. - М.: МГУ, 1987.
391. Eng G. A new correction to Schottky barrier lowering in cathodes//J. Appl. Phys. - 1985. - Vol. 58, No 11. - P. 4365-4375.
392. Vaughan R. A synthesis of the Longo and Eng cathode emission models//IEEE Trans. - 1986. - Vol. ED-33, No 11. - P. 1925-1927.
393. Hasker J., van Dorst P.A.M. Pitfalls in the evaluation of cathode properties from IV characteristics//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 1(2). - P. 201-208.
394. Lin T.P., Eng Genghmun. Thermionic emission including both space-charge and image forces//J. Appl. Phys. - 1989. - Vol. 65, No 8. - P. 3205-3211.
395. Grene R.F., Marrian C.R.K. Beam brightness of patchy temperature-limited cathodes//IEEE Trans. - 1987. - Vol. ED-34, No 8(2). - P. 1859-1861.
396. Lau Y.Y. Effects of cathode surface roughness on the quality of electron beams//J. Appl. Phys. - 1987. - Vol. 61, No 1. - P. 36-44.

397. Adler E.A., Longo A.T. Effect of nonuniform work function on space-charge-limited current//J. Appl. Phys. - 1986. - Vol. 59, No 4. - P. 1022-1027.
398. Аскеров И.Г. Связь между параметрами, характеризующими термоэлектронную эмиссию//Радиотехника и электроника. - 1986. - Т. 31, № 11. - С. 2296-2298.
399. Шумовые характеристики неэквивалентного эмиттера /А.С. Шаповалов, Ю.И. Денисов и др.//Вопросы электроники СВЧ. - 1986. - № 17. - С. 20-26.
400. Зиньковский В.М., Никитенко А.Н., Чупров Ю.Ю. О влиянии остаточных газов на шумы магнетронного генератора//Радиотехника. - 1986. - № 77. - С. 68-72.
401. Van der Ziel A., Fang P., van Pheenen A.D. Secondary emission 1/f noise revisited//J. Appl. Phys.- 1989. - Vol. 66, No 6. - P. 2736-2738.
402. Brodie I. Noise reduction in space charge limited thermionic diodes / Int. J. Electron. - 1987. - Vol. 62, No 1. - P. 1-7.
403. Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. Новое в исследованиях 1/f шума//УФН. - 1983. - Т. 141, № 1. - С. 151-176.
404. Zield van der A. Unified presentation of 1/f noise in electron devices: fundamental 1/f noise sources//Proc. IEEE.- 1988. - Vol. 76, No 3. - P. 233-258.
405. Kleint C.H. Electron emission noise//Surf. Sci. - 1988.- Vol. 200, No 2/3. - P. 472-489.
406. Афонина Л.Ф., Стучинский Г.Б. Эффективные вторично-электронные эмиттеры на основе фосфида галлия с сурьмяно-цезиевым и теллуридоцезиевым покрытием//Электронные процессы в твердых телах. - Л., 1986. - С. 83-87.
407. Андропов А.Н., Стучинский Г.Б., Яннушкин Е.И. О влиянии работы выхода поверхности на формирование энергетического распределения вторичных электронов в эмиттере с отрицательным электронным средством//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1988. - № 11. - С. 63-66.
408. Энергетическое распределение вторичных электронов из арсенида галлия с отрицательным электронным средством/ А.Н. Андропов, Г.Б. Стучинский и др.//Физика твердого тела. - 1989. - Т. 31, № 5. - С. 23-30.

409. Стучинский Г.Б., Лявочкин Л.А., Лявочкина Т.В. Отражение медленных электронов и вторичная электронная эмиссия ОЭС-эмиттера на основе GaAsP //ЖТФ. - 1989. - Т. 59, № 7. - С. 168-170.
410. Броздниченко А.Н., Яковлев В.Е. Коэффициент вторичной электронной эмиссии варизонного ОЭС-катода с учетом переизлучения//Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика. - 1988. - № 3. - С. 32-34.
411. Броздниченко А.Н., Яковлев В.Е. Влияние переизлучения на эффективность эмиттера с отрицательным электронным средством//Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика. - 1988. - № 3. - С. 29-31.
412. Климин А.И., Стучинский Г.Б. Вторично-электронные эмиттеры и фотокатоды с отрицательным электронным средством для фотоэлектронных приборов//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 1. - С. 3-II.
413. Jachym B., Wisniewski G. The use of three-component polymeric composites in preparing a channel electron multiplier//J. Phys. Phys. D: Appl. Phys. - 1983. - Vol. 16, No 10. - P. 2023-2032.
414. Поплавский Е.П., Галий П.В. Процессы на поверхности эмиттеров вторичных электронов MgO и Cs при электронном облучении//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 224.
415. Рахимов Р.Р., Гаипов С., Кадыров Б.А. Вторично-электронная и ионно-электронная эмиссия кристалла KCl, окрашенного электронной бомбардировкой//Поверхность. Физика, химия, механика. - 1983. - № 9. - С. 47-49.
416. Изменение термоэмиссионных свойств катодов типа металл - оксиды ШМ и ЦЭМ под влиянием электронной бомбардировки / К.П. Редько, А.П. Коржавый и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1985. - № 6. - С. II-14.
417. Мирзоева С.Д., Звонецкий В.И., Ешиков А.В. Влияние активных добавок на эмиссионные свойства композиционных пленочных эмиттеров//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1990. - № 3. - С. 67-69.

418. Термоэмиссионные и вторично-эмиссионные свойства системы окисления - ренит в условиях электронной бомбардировки / В.А. Смирнов, Ю.С. Судakov и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. 2. - С. 144.
419. Исследование состава поверхности и влияния пористости на вторично-электронные свойства композиции $\text{Cu-BaO-Li}_2\text{O}$ / В.Н. Ильин, Н.П. Есаулов и др.//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 138.
420. Изменение эмиссионных свойств и состава композиционных пленочных эмиттеров Cu/MgO на Cu в процессе активирования / А.А. Аристархова, С.С. Волков, В.Т. Гутенко и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1987. - № 4. - С. 19-22.
421. Xie Baixing. Fabrication of aluminium ethoxide//J. Electron. - 1990. - Vol. 12, No 1. - P. 109-112.
422. Вторично-электронная эмиссия титан-бариевой керамики различной проводимости / Н.П. Бажанова, П.Н. Дашук и др.//Тр. ЛПИ. - 1989. - № 429. - С. 36-40.
423. Коржавый А.П., Редега К.П. Вторично-эмиссионные материалы с низким значением первого критического потенциала//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 142.
424. Редега К.П., Ширяева Д.И., Лоренц Г.Ф. Изменение структуры поверхности катодов в процессе длительной эксплуатации//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1988. - № 2. - С. 19-22.
425. Dallios A., Skowron J.F., Dang R. Effects of ionized oxygen on primary and secondary emission, and total current of a CPA//IEEE Trans. - 1987. - Vol. ED-34, No 5(2). - P. 1201-1208.
426. Композиционные вторично-эмиссионные материалы типа металл-оксиды / В.И. Звонецкий, А.П. Коржавый и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1990. - № 4. - С. 24-27.
427. Sun Xuemin, Chen Desen. Effect of temperature on secondary electron emission yield of oxide cathode//J. Southeast Univ. - 1989. - Vol. 19, No 2. - P. 109-112.

428. Zhang E. On the magnetron cathode//IEEE Trans. - 1986. - Vol. ED-33, No 9. - P. 1383-1384.
429. Влияние способа получения порошков вольфрама на свойства вторично-эмиссионных материалов / В.И. Звонецкий, А.П. Коржавый и др.//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1990. - № 3. - С. 19-22.
430. Свойства лантан-стронциевых кобальтитов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-8}$ как материалов катодов газоразрядных приборов / А.Н. Петров, Н.И. Динатов, Д.Н. Зыбин и др.//Изв. АН СССР. Сер. неорг. матер. - 1988. - Т. 24, № 2. - С. 294-298.
431. Применение метода ВМС для исследования катодов типа $\text{Ta-Y}_2\text{O}_3$ / В.И. Капустин, В.П. Марин, О.В. Никитин и др.//Электронная промышленность. - 1988. - № 7. - С. 46-48.
432. Secondary electron emission studies on MgO films / Y. Ushio, T. Banno, N. Matuda et. al.//Thin Solid Films. - 1988. - Vol. 167. - P. 299-308.
433. Корнюшкин Ю.Д. Вторично-электронная эмиссия "на прострел" из тонких слоев Al_2O_3 //Поверхность. Физика, химия, механика. - 1990. - № 2. - С. 153-155.
434. Chen Desen, Sun Xueming. Новый метод измерения вторичной электронной эмиссии термокатодов и его применение//J. Electron. - 1989. - Vol. 11, No 6. - P. 649-655.
435. Xie Z. Исследование вторично-эмиссионных свойств импрегнированного диспенсерного катода на основе скандата бария при бомбардировке мощным электронным пучком//J. Electron. - 1989. - Vol. 11, No 2. - P. 221-225.
436. Secondary electron emission characteristics of oxidized beryllium cathodes / V.H. Ritz, R.E. Thomas et. al.//Surface and Interface Analysis. - 1988. - Vol. 11, No 6-7. - P. 389-397.
437. Дюбуа Б.Ч., Земчихин Е.М. Исследование состава поверхности и вторично-электронная эмиссия основных типов металлпористых термокатодов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - М., 1990. - Ч. I. - С. 181.

438. Состав поверхности, термо- и вторично-электронная эмиссия металлпористых катодов, покрытых пленками сплавов на основе рения и осмия / Е.М. Земчихин, А.П. Макаров, О.К. Култашев и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 180.
439. Бондаренко Г.Г., Иванов Л.И., Кучерявый С.И. Изучение распыляемости алюминиевых сплавов при ионной бомбардировке//Физика и химия обработки материалов. - 1986. - № 5. - С. 24-25.
440. Земчихин Е.М., Култашев О.К., Новикова Т.М. Вторично-электронная эмиссия и состав поверхности металлосплавных катодов//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. 2. - С. 143.
441. Вторично-электронная эмиссия сплава Pd-Ba и композиции $\text{Cu-BaO-Li}_2\text{O}$ при воздействии мощной импульсной электронной бомбардировки / В.Н. Ильин, В.А. Хмара и др.//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1967. - Т. 2. - С. 140.
442. Влияние имплантации ионов бария и кислорода на эмиссионные свойства поликристаллов Pt, Mo и сплавов Pd-Ba, Pt-Ba / М.Т. Нормурадов, Г.И. Сергеев, Э. Унаров и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 2(406). - С. 43-47.
443. Влияние остаточного газа в приборе и бомбардировки ионами азота на вторично-эмиссионные свойства сплава Pd-Ba / М.Т. Нормурадов, Г.И. Сергеев, Б.Е. Умирзак и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. I(395). - С. 40-45.
444. Лещинский И.Ш., Лукашев А.А., Чистяков П.Н. Послеразрядная и вторичная электронная эмиссия из холодного платинового эмиттера//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. 6(390). - С. 3-5.
445. Унаров Э.У., Нормурадов М.Т., Умирзак Б.Е. Изменение состава и структуры поверхности Pd и Pd-Ba при бомбардировке ионами Ba^+ //Поверхность. Физика, химия, механика. - 1990. - № 5. - С. 95-100.

446. Т а ш а т о в А.К., У м и р з а к о в Б.Е., Н о р м у р а д о в М.Т. Количественное изменение элементного состава поверхности сплава Pd-Ba при нагреве в сверхвысоком вакууме// Радиотехника и электроника. - 1989. - Т. 34, № 4. - С. 885-887.
447. Угловые зависимости вторичной электронной эмиссии сплава Pd-Ba, легированного ионами щелочных и щелочноземельных металлов / М.Т. Н о р м у р а д о в, Г.И. С е р г е е в, Д.Б. Б у н а з а р о в и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 3(427). - С. 45-48.
448. Е с а у л о в Н.П., В л а д и м и р о в Г.Г., Р у м п Г.А. Вторично-электронная эмиссия и поверхностный состав сплава медь-литий с пленками платины и рения//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1991. - № 6. - С. II-16.
449. Т ю т и к о в А.М., М а ш к о в В.А. Исследование эмиссионных свойств стекол//Тр. ГОИ. - 1985. - Т. 58, № 192(I). - С. 43-59.
450. С о р о к и н О.М., М а ц о я н Б.Д., Т ю т и к о в А.М. Оптические свойства, фотоэлектронная эмиссия в ВУФ-области спектра и проблемы вторично-электронной эмиссии стекол системы $PbO-SiO_2$ //Тр. ГОИ. - 1985. - Т. 58, № 192(I). - С. 65-75.
451. У л ь к о Ю.Н., Ф а й н б е р г Е.А. О влиянии центров окрашивания на вторично-электронную эмиссию стекол//Электронная техника. Сер. 6, Материалы. - 1989. - № I. - С. 78-80.
452. S h a k r a v o r t y D., R a j o r a d h y e N.R., B h o r a s k a r S.V. Electron emissive properties of Pb and Bi containing glasses//J. Non-Cryst. Solids. - 1988. - Vol. 105, No 1-2. - P. 179-184.
453. И л ь и н В.Н., Е с а у л о в Н.П. Электронная эмиссия сплавов Cu-Li, Ag-Li со структурой твердого раствора//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 139.
454. Б о н д а р е н к о Г.Г., К у ч е р я в ы й С.И., Ш и ш к о в А.В. Исследование вторично-электронной эмиссии алюминий-литиевых сплавов//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. 2. - С. 141.

455. Secondary electron emission characteristics of oxidized berillium cathodes / V.H. R i t z, R.E. T h o m a s, J.W. G i b s o n et. al.//Surf. & Interface Analysis. - 1988. - Vol. 11, N 617. - P. 389-397.
456. Исследование поверхности композиционных вторично-электронных катодов методом вторично-ионной эмиссии / В.Ф. А р ц ы х о в и ч, А.П. К о р ж а в ы й и др.//Вторичная ионная и ион-фотонная эмиссия: Тез. докл. 28-30 июня 1988. Ч. 2. - Харьков, 1988. - С. 47-48.
457. Материалы для катодов с низким значениями первого критического потенциала: Обзоры по электронной технике. Сер. 6, Материалы / А.П. К о р ж а в ы й, К.П. Р е д е г а. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1987. - № 2.
458. O l e s i k J., C a l u s i n s k i B., O l e s i k Z. Controlled electric field effects on sample secondary electron emission coefficient//Electronika. - 1988. - Vol. 29. - No 4. - P. 15-17.
459. O l e s i k J., C a l u s i n s k i B., O l e s i k Z. Secondary electrons energy distribution emitted from samples with internal electric field//Electronika. - 1988. - Vol. 29, No 4. - P. 18-19.
460. V a u g h a n J.R.M. A new formuls for secondary emission// IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 9(2). - P. 1963-1967.
461. Г р и г о р ь е в Ю.В., Т а р а с е н к о в В.А., Ф е д о р о в В.И. Катодный узел с электронным нагревом//ПТЭ. - 1987. - № 5. - С. 126-128.
462. С к а п ц о в А.А. Влияние циклического включения накала на долговечность подогревателей катодов ЭВП//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1987. - № 3. - С. 20-24.
463. Л у ч и н А.А., М е ж а н к о в а О.М., Б о л ь ш а к о в а Т.А. Заплавленные подогреватели для торцевых импрегнированных катодов ЭВП//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 8(332). - С. 42-43.

464. Сильноточный инжектор электронов с высокочастотным нагревом эмиттера / А.Д. Курибедя, Ю.А. Волколупов и др.//У Всес. симп. по сильноточной электронике. - Томск, 1984. - Ч. I. - С. 90-92.
465. Измерение термосмещений катода вакуумного прибора методом голографической интерферометрии / А.А. Андреев, В.Б. Рабкин, В.П. Рябухо и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1983. - Вып. 3(351). - С. 44-48.
466. Применение метода конечных элементов в расчетах механической прочности узлов ГРП и ЭВП при динамических и температурных воздействиях: Обзор по электронной технике. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы / В.И. Дыкин, В.Г. Карпов, О.Г. Смиренский и др. - М.: ЦНИИ "Электроника" - 1987. - № I.
467. Королев С.В., Лазарев В.Н. Влияние термических деформаций катодно-подогревательных узлов и элементов электронно-оптических систем электронно-лучевых приборов на формирование мощных релятивистских пучков//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. 5(399). - С. 36-39.
468. Влияние конструкционных изменений на формуустойчивость торцевых оксидных катодов в режиме циклического включения накала / Н.М. Галина, Б.П. Никонов и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 5(419). - С. 36-41.
469. Оптимизированный высокотемпературный катодно-подогревательный узел / Т.А. Воробьев, Д.В. Иремашвили и др.// ПТЭ. - 1989. - № 2. - С. 158-162.
470. Галина Н.М., Никонов Б.П., Соколов А.М. Влияние времени и температуры термоциклирования на формуустойчивость оксидных катодов ЭВП//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - № 9. - С. 41-43.
471. Szekeres B. Development of a cathode for cathode ray tubes with fast heating time and low power consumption// Hirasdas-technika. - 1986. - Vol. 37, No 10. - P. 475-478.
472. Галина Н.М., Никонов Б.П., Соколов А.М. Катодный узел с малым временем разогрева//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1986. - Вып. 3(387). - С. 61.

473. Исследование конструктивных факторов, влияющих на разброс температуры оксидных катодов ЛБВ / В.П. Харитонов, С.П. Писаренко и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 8(423). - С. 44-48.
474. Киселев А.Б., Кузичев Л.Н. Контроль температуры катодно-подогревательного узла ЭВП//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 10(414). - С. 26-29.
475. Контроль температуры катодных узлов ЭВП по электрофизическим параметрам / А.Б. Киселев, Л.Н. Кузичев, Р.П. Матафонов и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 7(431). - С. 40-43.
476. Кузичев Л.Н., Новикова Т.М., Киселев А.Б. Контроль качества прямонакально-подогревных катодов электронных приборов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 9(333). - С. 39-41.
477. Белкин В.С., Груич Д.Д., Пичко С.В. Тиристорный стабилизатор тока эмиссии катода/ПТЭ. - 1989. - № 6. - С. 162-164.
478. Чэнь Дэ-Сень, Ван Бинь, Си Вей-го. Анализ потребления энергии LaB_6 -катодом для растрового электронного микроскопа//Приборы для научных исследований. - 1989. - № 8. - С. 48-52.
479. Dallas A. Cathode temperature selection for long life// NTG-Fachber. - 1986. - Vol. 95. - P. 230-235.
480. Loschialpo P. Karetanakos C.A. High-current density, high-brightness electron beams from large-area lanthanum hexaboride cathodes//J. Appl. Phys. - 1988. - Vol. 63, No 8, Pt. 1. - P. 2552-2557.
481. Быстрицкий А.И., Егоров А.А., Цымбалов Г.М. Метод расчета минимальной разности температур между катодом и подогревателем при теплообмене излучением// Электронная техника. Сер. I. Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 5(409). - С. 36-41.
482. Liyoshi R., Takematsu H., Masure S. Point cathode electron gun using electron bombardment for cathode tip heating//J. Electron. Microsc. - 1988. - Vol. 37, No 1. - P. 1-7.

483. Hyo shi R., Takomatsu H., Maruse S.
Point cathode electron gun using electron beam heating//J. Electron. Microsc. - 1986. - Vol. 35, Suppl., No 1. - P. 235-238.
484. Исследование стабильности эмиссионных характеристик прямо-накальных катодов / Б.Н. В а с и ч е в, С.А. Г а р с ю к о в и др.//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1986. - Т. 52, № 7. - С. 1258-1264.
485. Lipscomb G.A., Herniter M.E., Getty W.D.
Pulsed cathode heating method//IEEE Trans. - 1989. - Vol. PS-17, No 6. - P. 898-905.
486. Кабин А.В. Устройства и способ измерения температуры катода косвенного накала в ЭВП с фоновыми составляющими начального тока//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 2(406). - С. 55-58.
487. Катоды. Ч. IV. Подогреватели: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / А.Д. Лебединская, А.И. М а ш т а к о в а, А.В. И в а н о в а. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - Вып. 15(1211).
488. Катоды. Ч. V. Торцевые катодные узлы: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / В.В. Г л у х о в а, А.В. И в а н о в а и др. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - Вып. 18(1223).
489. Катоды. Ч. VI. Катодные узлы с цилиндрической поверхностью катода: Обзоры по электронной технике. Сер. I. Электроника СВЧ / Л.Ф. Т е с л е н к о, В.В. Г л у х о в а и др. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1986. - Вып. 19(1225).
490. Киселев А.Б., Галина Н.М. Влияние конструктивно-технологических факторов на время разогрева катодно-подогревательных узлов электровакуумных приборов//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1990. - Вып. 8(432). - С. 3-10.
491. Печь для испытания материалов на воздухе при температуре до 1850 °С / В.Е. С о т н и к о в, А.М. С м и р н и т с к и й, А.В. С а т а н о в с к и й и др.//ПТЭ. - 1984. - № 5. - С. 217-218.

492. Карпухин С.В., Камерцель А.Ю. Исследование антиэмиссионных пленок гафния методом электронной Оже-спектроскопии//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. 3(397). - С. 47-50.
493. Оже-исследование пленок Mo и Ni на поверхности металлопористого катода / С.В. Карпухин, О.Л. Левин и др.// Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990, Ч. I. - С. 178.
494. Бутенко И.М., Бутенко Л.С. Влияние состава металлопористого катода на стабильность металлической пленки на его поверхности//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1988. - Вып. 4(408). - С. 43-45.
495. Судакова Л.Н., Чубун Н.Н. Пленочные антиэмиссионные покрытия на поверхности металлопористого катода//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 183.
496. Антиэмиссионные свойства пленки ZrB_2 на поверхности металлопористого катода / Ю.В. Пурков, Л.В. Парфеньев, С.В. Карпухин и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 179.
497. A new method of machining honeycomb spherical nonintercepting grid and theoretical calculation / Zhang Qing-guo n i, Du Zhui - kui, Lu Zheng - jia et. al.//Int. Conf. Microwave Tubes Syst.: Probl. and Prospects I, 22-23 Oct. 1984 L. - 1984. - P. 42-46.
498. Curren A.N. Carbon and carbon-coated electrodes for multistage depressed collectors for electron-beam devices - a technology review//IEEE Trans. - 1986. - Vol. ED-33, No 11. - P. 1902-1914.
499. Ebihara B.T., Ramins P., Peet S. TWT efficiency improvement by a low-cost technique for deposition of carbon on LDC electrodes//IEEE Trans. - 1987. - Vol. ED-34, No 2. - P. 490-493.
500. Enrong Q. Secondary electron emission properties of diamond for use in multistage depressed collectors//NTG Fachber. 1983. - Vol. 85. - P. 75-79.

501. Углеграфитовые материалы и способы их соединения с металлами: Обзоры по электронной технике. Сер. 7, Технология, организация производства и оборудование / Е.М. С о т н и к о в а, Н.М. Р а д з и м о в с к а я. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1984. - № 7.
502. В и л ь д г р у б е В.Г. Исследование антиэмиссионных свойств титанового покрытия, нанесенного в вакууме//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1986. - № 3. - С. 29-32.
503. К а р т у з о в а И.А. Методика устранения паразитной термоэмиссии сеток в отпаянных электровакуумных приборах// Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 2. - С. 28-30.
504. Г у г н и н А.А., К а л и н и н М.В., Щ е т о ч к и н а Н.П. Термоэлектронная эмиссия углеситалла в потоке продуктов испарения с металлопористого катода//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 142.
505. Б р у с и л о в с к и й Г.Л. Эмиссионные и адсорбционные свойства пленок тория на пирографите//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1988. - № 2. - С. 3-6.
506. Г у г н и н А.А., К а л и н и н М.В., Щ е т о ч к и н а Н.П. Измерение работы выхода углеситалла УСБ15// Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1989. - Вып. 9(423). - С. 47-49.
507. Сетки мощных генераторных ламп. Проблемы, пути развития / В.Г. В и л ь д г р у б е, Б.Д. Ц е р п и ц к и й и др.// Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 2. - С. 43-52.
508. Г у г н и н А.А., И л ь и н В.Н., Т и х о н о в Н.А. Работа выхода пиролитического нитрида бора//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 221.
509. Термоэлектронная эмиссия пленок ZrB_2 и углеситалла на молибдене при напылении продуктов испарения металлопористого катода / А.И. В о р о т н и к о в, А.А. Г у г н и н, В.Н. И л ь и н и др.//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 220.

510. К а р т у з о в а И.А., З и б е р Л.И. Методика термодинамической оценки антиэмиссионных свойств сеточных материалов и выбор их для сеток ЭВЛ. - Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1984. - № 6. - С. 8-13.
511. Б р у с и л о в с к и й Г.Л., В и л ь д г р у б е В.Г., К а р т у з о в а И.А. Перспективы создания новых покрытий для сеток мощных генераторных ламп с вольфрам-ториевым карбидированным катодом, работающим в условиях повышенных удельных нагрузок//Электронная техника. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - 1989. - № 2. - С. 52-59.
512. Электронно-оптические системы с сеточным управлением: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / Ю.А. Г р и г о р ь е в, Б.С. П р а в д и н, В.И. Ш е с т е р к и н. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1987. - Вып. 7(1264).
513. Электронные пушки. Ч. I. Электронные пушки ЛБВ, клистронов и электронно-лучевых приборов: Обзоры по электронной технике. Сер. I, Электроника СВЧ / Л.Ф. Т е с л е н к о, Е.Г. Г у б а р е в а, Е.Н. К а р с о в а, А.И. М а ш т а к о в а. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1987. - Вып. 18(1313).
514. К а н Х.С., К у л ь в а р с к а я Б.С., Д р о з д е ц к а я Л.П. Высокоэффективные источники электронов и перспективы их применения в сильноточной электронике//Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. - Томск, 1986. - С. 32-34.
515. К а н Х.С., К у л ь в а р с к а я Б.С. Создание и исследование высокоэффективных источников заряженных частиц на основе соединений и сплавов щелочных металлов, перспективы их практического применения//Проблемы современной радиотехники и электроники. - М.: Наука. - 1987. - С. 218-230.
516. Создание и исследование холодных катодов для формирования электронных пучков большого сечения / Х.С. К а н, Л.П. Д р о з д е ц к а я, М.А. А б р о я н и др.//VI Всес. симп. по сильноточной электронике, Новосибирск, 4-6 мая 1988. - Т. I. - С. 70-72.
517. К а н Х.С. Источники заряженных частиц для задач эллионной технологии//Вторая межд. конф. по электронно-лучевым технологиям. ЭЛТ-88. 31 мая - 4 июня 1988, Варна, Болгария. - С. 129-134.

516. Исследование и изыскание эффективных источников электронов для газоразрядных приборов и практика их применения / Х.С. Кан, Б.С. Кульварская и др.//Тез. докл. У Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. II. - Томск, 1984. - С. 227-229.
519. Кульварская Б.С., Соболева Н.А., Татаринова Н.В. Композиционные соединения щелочных металлов - новые эффективные источники ионов и электронов//Изв. АН СССР. Сер. физическая. - 1988. - Т. 52, № 8. - С. 1509-1512.
520. Фурсей Г.Н., Лупехин С.М., Поляков М.А. Интенсификация взрывной эмиссии при использовании жидких сплавов щелочных металлов//Письма ЖТФ. - 1984. - Т. 10, № 9. - С. 533-536.
521. Использование взрывоэмиссионного углеродно-волокнистого катода в ускорителе электронов СИЛУНД-20 / Н.А. Азорский, В.С. Александров, Н.И. Балалыкин и др.// Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. - Томск, 1984. - С. 55-57.
522. Исаков П.Л., Кожевников А.В., Пак В.С. Формирование сильноточного РЭП для ЛСЭ//Тез. докл. VII Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. 2. - Томск, 1984. - С. 121-123.
523. Першин В.И. Десорбционный щелевой катод электрической пушки линейного индукционного ускорителя//Радиотехника и электроника. - 1986. - Т. 31, № 6. - С. 1209-1212.
524. Першин В.И., Попова Н.Я. Выбор катода для инжектора линейного индукционного ускорителя ЛИД-5/5000//Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техника физического эксперимента. - 1987. - № 4. - С. 61-63.
525. Shields H., Sandstrom R.L., Levatter J.I. Corona-plasma cathode for high-energy electron beams//Appl. Phys. Lett. - 1985. - Vol. 47, No 7. - P. 680-682.
526. A super emissive self-heated cathode for high-power applications / W. Hartmann, G. Kirkman et. al.//IEEE Trans. - 1989. - Vol. ED-36, No 4(2). - P. 825-826.

527. A l v e s S.T. Heater power considerations in high-power of electron tubes//IEEE Conf. Res. 17th Power Modul. Symp. 1986 New York. - N.Y.: 1986. - P. 114-116.
528. А ш к и н а з и Л.А. Возможность работы оксидного катода в импульсном режиме с отбором тока большой плотности//Изв. АН СССР. Сер. Физическая. - 1988. - Т. 52, № 7. - С. 1441-1443.
529. В а н ц а н В.М., С о с с р о н и к Н.Н., Г а л а т А.Б. Высокоэффективный фотоэмиттер на базе оксидного катода//Применение лазеров в промышленности: Матер. науч. техн. семин. - Л.: Об-во "Знание" РСФСР ЛДНТП. - 1989. - С. 78-80.
530. Возможность использования фотоэмиттеров из сплава магния и алюминия с барьером в качестве катодов сильноточных электронных пушек / А.М. Б и ш а е в, Ю.В. Д е м и д о в и др.//Материалы УШ Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. - Свердловск, 1990. - С. 43.
531. Photocathodes in accelerator applications / J.S. F r a s e r, R.L. S h e f f i e l d, E.R. G r a y et. al.//CERN (Sci. Rept). - 1987. - No 11/2. - P. 501-505.
532. Photocathodes in accelerator applications / J.S. F r a s e r, R.L. S h e f f i e l d, E.R. G r a y et. al.//Proc. IEEE Part. Accel. Conf.; Accel. Eng. and Technol. Washington DC. March 16-19 1987. - N.Y.: 1987. - Vol. 3. - P. 1705-1709.
533. O e t t i n g e r P.E. Bright photoelectron beams emitted from excimer laserilluminated LaB_6 //Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. - 1988. - Vol. 998. - P. 24-29.
534. W a t a r i F., Y a d a K. Photoemission from LaB_6 cathode using an excimer laser//J. Electron. Microsc. - 1986. - Vol. 35, Suppl., No 1. - P. 261-262.
535. Pulsed photocurrents from lanthanum hexaboride cathode cathodes in the regime / М. В о у с с о у к а я, Н. B e r g e r e t et. al.//Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. - 1988. - Vol. A 264 No 2-3. - P.131-134.
536. Измерение эмиссионного тока при переключении направления поляризации сегнетоэлектрика / А.Ш. А й р а п е т о в, А.К. К р а с н ы х и др.//Письма в ЖТФ. - 1990. - Т. 16, № 5. - С. 46-49.

537. Spindt C.A., Holland C.E., Stowelle R.D. Field emission cathode array development for high-current-density applications//Appl. Surf. Sci. - 1983. - Vol. 16, No 1-2. - P. 268-272.
538. Mitchell R.E., Mitchell J.B.A., McGowan J.Wm. Studies of a thin film field-emission cathode for use in merged electron beam experiments//J. Phys. E. - 1985. - Vol. 18, No 12. - P. 1031-1036.
539. Lee R.A. Return of the vacuum valve//Electron and Wireless World. - 1989. - Vol. 95, No 1639. - P. 443-447.
540. Дюбуа Б.Ч., Предник В.Н., Чубун Н.Н. Эмиссионные проблемы вакуумной микроэлектроники//Тез. докл. XXI Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Л., 1990. - Ч. I. - С. 30.
541. Галлахер Р.Т. Плоские индикаторы, способные конкурировать с ЭЛТ//Электроника. - 1986. - № 12. - С. 5-6.
542. Барни К. Большие платы Стенфордского научно-исследовательского института по разработке миниатюрных холодных катодов//Электроника. - 1986. - № 12. - С. 6-7.
543. Deuton J.A. Jr., Kosmahl H.G. Ultra small electron beam amplifiers//IEDI. - 1986. - P. 780-783.
544. Заявка № 58-124625, МКИ НО1 I/30. Электронная пушка из кристалла гексаборида лантана / И. Сасаки. Оpubл. 29.01.85.
545. Низковольтные кремниевые матричные автоэлектронные катоды / А.А. Васенков, Н.А. Дюжев и др.//Электронная промышленность. - 1987. - № 8. - С. 46-49.
546. Махов В.И., Дюжев Н.А., Козлов А.И. Триодная структура на основе кремниевых автокатодов с субмикронными размерами//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 232.
547. Махов В.И., Дюжев Н.А., Козлов А.И. Катодный узел с кремниевым матричным автоэлектронным катодом//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 233.

548. Gray H.F., Campisi G.I. A silicon field emitter array planar vacuum FET fabrication with microfabrication techniques//Science and Technology of Microfabrication Symposium. Boston, MA, USA, 4-5 Dec. 1986 (Pittsburg, PA, USA: Mater. Res. Soc. 1980). - P. 25-30.
549. Caracteristiques energetiques de cathodes a micropointes a emission de champ / A. Brenas, R. Baptist et. al.// Rev. Phys. Appl. - 1987. - Vol. 22, No 12. - P. 1819-1831.
550. Cochran J.K., Lee K.J., Hill D.N. Comparison of low-voltage field emission from TaC and tungsten fiber arrays//J. Mater. Res. - 1988. - Vol. 3, No 1. - P. 67-74.
551. О стационарности эмиссии автокатаода из углеродных волокон при больших плотностях тока / Б.В. Бондаренко, Ю.А. Лянгасов и др.//Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. - Томск, 1986. - С. 37-39.
552. Сильноточный автокатод на основе углеродных волокон / Б.В. Бондаренко, А.Ю. Черепанов, С.Ю. Шабазов и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1987. - Вып. 10(404). - С. 45-48.
553. Кудинцева Г.А., Чубун Н.Н. Исследование матричных автокатодов с высокой плотностью тока//XX Всес. конф. по эмиссионной электронике. - Киев, 1987. - Т. I. - С. 224.
554. Савельев В.С. Влияние толщины электронного пучка и тепловых скоростей ионов на характер бомбардировки катодов// Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1981. - Вып. I(325). - С. I3-I6.
555. Эффект устранения ионной бомбардировки автоэмиссионного катода / Л.М. Баскин, Л.Л. Ананьев, Д.А. Борисов и др.//Радиотехника и электроника. - 1983. - Т. 28, № 12. - С. 2462-2464.
556. Невровский В.А., Ярославский В.Н. Об интенсивности ионной бомбардировки катодных микровыступов в вакууме//Радиотехника и электроника. - 1988. - Т. 33, № 4. - С. 808-813.

557. Особенности формирования электронного потока, эмиттируемого матричным автоэмиссионным катодом / И.И. Голеницкий, Г.А. Кудинцева, И.М. Олихов и др.//Электронная техника. Сер. I, Электроника СВЧ. - 1985. - Вып. 8(380).
558. Морозов А.В., Белоусов А.М. О влиянии условий отбора тока с пропитанных катодов на их эмиссионные свойства//Вопросы радиоэлектроники. Сер. I, Электроника. - 1965. - № 9. - С. 126-136.
559. Physical implications of an effective activation energy for ar erosion on oxidised cathodes / F.E. Guile, A.H. Hitchens et. al.//J. Phys. D. - 1982. - Vol. 15, No 11. - P. 2341-2355.
560. Hrach R., Malat V. Effect of vacuum conditions on breakdown voltage between electrodes in vacuum//Czech. J. Phys. - 1980. - Vol. B 30, No 5. - P. 518-521.
561. Дружинин А.В., Мельников А.И., Некрасов В.И. Предельный ток эмиссии пропитанного алюминатного катода//Радиотехника и электроника. - 1967. - Т. 12, № 5. - С. 862-866.
562. Выборнов С.И., Жаринов А.В., Коваленко Ю.А. Первеанс газонаполненного триода//ЖТФ. - 1985. - Т. 55, № 4. - С. 801-804.
563. Иванов С.А. Рентгеновские трубки для научных исследований, промышленного контроля и технологии: Обзоры по электронной технике. Сер. 4, Электровакуумные и газоразрядные приборы. - М.: ЦНИИ "Электроника". - 1982. - № 1.

Серия 1. СВЧ-техника

Леонид Александрович Ашкинази

**ТЕРМО- И ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КАТОДЫ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ И ГАЗОРАЗРЯДНЫХ
ПРИБОРОВ**

Редактор *Л. Н. Хоточкин*

Подписано в печать 15.05.92 г.	Формат 60×90/16		
Печать офсетная	Усл. п. л. 6	Луч.-изд. л. 6,4	Тираж 320 экз.
Заказ 385	Цена 3 р. 85 к.		Индекс 4847

Издательство ЦНИИ «Электроника», Москва, 117415