

ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОГО ОКСИДНО-МАГНИЕВОГО КАТОДА С САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙСЯ ЭМИССИЕЙ

Р. Г. АЛЕКСАНИЯ

Рассматривается влияние состава и толщины покрытия на эмиссионную способность катодов.

Обнаружена зависимость стабильности эмиссии от метода нанесения покрытия.

Отмечаются характерные особенности свечения на катоде в зависимости от предыстории образцов. Устанавливается зависимость эмиссии от числа циклов обработки кислородом.

Показано влияние материала зерна и его шероховатости на эмиссионную способность катодов.

1. В в е д е н и е

Изучение явления самоподдерживающейся эмиссии, наблюдаемой из тонких пористых слоев диэлектриков и, в частности, окиси магния, представляет интерес для выяснения механизма эмиссии, с одной стороны, и практического применения в качестве источников свободных электронов в различных электронных приборах, с другой.

Отсутствие мощности накала и относительно малое время готовности (0,1—0,5 сек)—основные преимущества таких катодов. В последние годы опубликован ряд работ, в которых исследованы слои окиси магния [1—6].

Вместе с тем не выяснен наилучший метод изготовления катода, хотя известно, что этот процесс влияет на такое важное свойство, как зависимость вторичной эмиссии от поля [7].

Кроме того, покрытия, имеющие наилучшие эмиссионные характеристики, сильно отличаются по толщине [2, 3, 4].

Имеются две разные точки зрения на необходимость операции окисления [4, 5].

Целью настоящей работы являлось изучение зависимости эмиссионных свойств катода от состава, метода нанесения, режимов обработки и толщины покрытия. Рассмотрено влияние материала зерна и его шероховатости. В работе также высказаны некоторые мысли о роли кислорода и операции окисления в процессе обработки покрытия.

II. Методика экспериментов

Конструктивно за основу были взяты катоды приборов ГУ-50 и ГУ-29. Катоды обоих типов ламп покрывались катафорезным методом и опрыскиванием. Для катафореза применялась оксидная масса состава 1 (карбонат магния—25 г, метанол—250 мл, ацетон—225 мл). Для

попрыскивания применялась суспензия состава 2 (карбонат магния—80 г, перекись магния—20 г, амилацетат—250 мл) и состава 3 (окись магния—40 г, перекись магния—20 г, амилацетат—125 мл, метанол—125 мл). В качестве биндера в состав 1 добавлялось 45 мл раствора нитроцеллюлозы в бутилацетате, а в составы 2 и 3—55 мл нитролака с вязкостью 226 сек.

Толщина катафорезных покрытий составляет 10—30 мк. Методом катафореза сделаны многослойные покрытия с общей толщиной 30—100 мк. Такое покрытие получается в результате 3—5-кратного повторения режима 10- и 30-микронного покрытия. После нанесения каждого слоя покрытие просушивалось на воздухе в течение одной минуты. Толщина покрытий опрысканных катодов составляет 30—100 мк.

Покрытия имели шероховатость 3—5 мк при катафорезе и 15—20 мк при опрыскивании. Площадь покрытия составляет $2,3 \text{ см}^2$, плотность— $0,43\text{--}0,45 \text{ г/см}^3$ у опрысканных, $0,52 \text{ г/см}^3$ у катафорезных.

В качестве материала кернов катодов применены НИВО-3, НИВО-3Ч и НК-1. Кроме того, использованы керны из НК-1 с нанесенным слоем чистого (карбонильного) порошка никеля. При этом шероховатость поверхности керна составляла 6—7 мк. Результаты получены в основном с применением керна из НИВО-3.

Экспериментальные лампы изготовлены на базе приборов ГУ-29 и ГУ-50. В лампе ГУ-29 располагаются два катода, что позволяет наблюдать влияние одинаковой остаточной атмосферы и идентичных условий откачки на катоды с различной биографией и толщиной покрытия. В качестве коллекторов использованы сетки приборов. Аноды имеют продольный вырез для визуального наблюдения явлений на катоде. Стартером служит накаливаемая током вольфрамовая нить.

Выбран оптимальный режим обработки ламп при откачке, принципиально не отличающийся от ранее известных [1—4]. После обезгаживания стекла ($T = 480^\circ\text{C}$, 20 минут) и металлических деталей ламп при давлении $p = 10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$ производилась обработка катода:

1. Прогрев катода при $T = 850^\circ\text{C}$ в течение 8—10 минут для получения слоя из окиси магния.
2. Введение трех доз кислорода при $T_k = 850^\circ\text{C}$; $P_H = 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$, $P_k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$; если давление за 5 минут не улучшалось до $5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$, то цикл окисления считался законченным; перед введением очередной дозы остаточный кислород откачивался и катод охлаждался в течение 5 минут.
3. Откачка до $P = 10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$ и прогрев катода в течение 8 минут при $T_k = 600^\circ\text{C}$.

Начиная со второго-третьего этапов, у отдельных образцов катодов снимались характеристики.

После обезгаживания стекла баллона покрытие катода, как правило, приобретает темно-серый цвет. Лишь после введения кислорода покрытие восстанавливалось по цвету. В [5] установлено, что при-

чиной потемнения покрытия является углерод. Действительно, при первоначальном прогреве баллона при $T=480^{\circ}\text{C}$ углерод выделяется в результате разложения органических веществ, содержащихся в покрытии катода, и, очевидно, осаждается на покрытии, придавая ему темно-серый (иногда черный) цвет. Чтобы избежать потемнения покрытия, сразу же после предоткачки до $p=10^{-5}$ мм рт. ст., не прогревая стеклянного баллона, катод был нагрет до $T=850^{\circ}\text{C}$ и выдержан при этой температуре в течение 5–10 минут. После этого производилось обезгаживание стекла баллона при $T=480^{\circ}\text{C}$ с последующим окислением катода. При такой обработке покрытие сохраняет белый цвет. Очевидно, имеет место следующий процесс: двуокись углерода, выделенная из карбоната магния при его разложении, окисляет углерод, одновременно выделенный из органических веществ. Окись углерода откачивается. Таким образом, воздействие углерода на покрытие исключается.

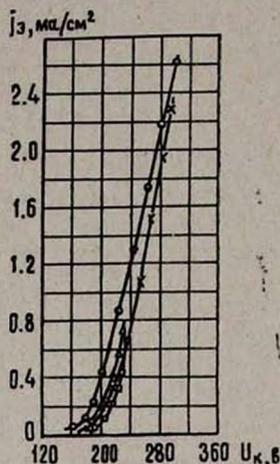


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики различных катодов. \circ — катод с катафорезным покрытием (лампа ГУ-50), обработанный в режиме с окислением; \times — опрыснутый катод (лампа ГУ-29), обработанный в режиме с окислением; \triangle — катод с катафорезным покрытием, обработанный в режиме без окисления; \square — опрыснутый катод, обработанный в режиме без окисления.

кислорода после обезгаживания баллона не приводит к заметному изменению эмиссии. Из [5] также не видно, чтоб авторам удавалось получить плотности тока выше $0,8-0,9$ ма/см². В то же время принятый в данной работе режим обработки катодов позволял с одних и тех же образцов катодов получать устойчивую эмиссию с плотностью тока $2-2,5$ ма/см² (рис. 1).

III. Результаты экспериментов

Первоначально почти во всех образцах эмиссия легче возбуждалась высокочастотным разрядом трансформатора Тесла. После этого в отпаянных приборах для начала эмиссии использовался ток с вольфрамовой нити стартера. Для стабилизации эмиссии отпаянные лампы подвергались тренировке в течение 20–30 минут при плотности тока с катода $1-2$ ма/см².

В [5] отмечается, что эмиссионная способность катода наилучшая сразу же после первоначального прогрева катода. В процессе прогрева баллона эмиссия ухудшается и восстанавливается (хотя и не полностью) после окисления.

Действительно, после первоначального прогрева катода эмиссия у отдельных образцов устойчива, хотя предельное значение полученной плотности тока составляла $0,6-0,7$ ма/см². Введение

При снятии характеристик в электрическую схему для стабилизации тока эмиссии последовательно с катодом включалось ограничивающее сопротивление 10—20 ком.

Сравнение эмиссионных свойств катодов производится по усредненным вольт-амперным характеристикам $I_3 = f(U_k)$, которые при улучшении эмиссионных свойств катода смещаются влево.

Характер свечения на катоде. Влияние исходного состава и метода нанесения покрытия. Отбор тока с оксидно-магниевого катода сопровождается голубым свечением двух типов: менее ярким, однородным по всей поверхности катода, и более ярким, в виде отдельных светящихся точек разных размеров, зачастую равномерно расположенных по всей поверхности катода. В зависимости от состава и метода нанесения покрытия свечение катода имеет характерные особенности. Проведенные наблюдения позволяют сделать следующие выводы:

1. Светящиеся точки расположены в местах сквозных пор.
2. Размеры пор определяют величину светящихся точек: чем выше размеры пор, тем выше размер точки.
3. Яркость светящихся точек на опрыснутых покрытиях заметно выше, чем на катафорезных.
4. Размеры и разброс по величине сквозных пор на опрыснутых составом 2 покрытиях выше, чем на катафорезных (состав 1) и опрыснутых составом 3.
5. Однородность светящихся точек наивысшая у катафорезных покрытий.
6. Густота расположения светящихся точек при наблюдении под микроскопом наивысшая у однослойных катафорезных покрытий—46—54 на участке длиной в 1 см по высоте катода, в то время как у опрыснутых составом 2—30—36 и составом 3—12—18.
7. Густота расположения светящихся точек у многослойных катафорезных покрытий составляет 10—20.
8. С увеличением толщины покрытия наблюдается уменьшение числа сквозных пор.

Эти наблюдения позволяют объяснить ход вольт-амперных характеристик, если исходить из положения, что места эмиссии соответствуют местам расположения сквозных пор (светящимся точкам) [5, 6]. Как следует из рис. 2, 3, катоды с исходным покрытием, содержащим карбонат магния, имеют более левые характеристики при прочих равных условиях. В случае покрытия составом 3 поры образуются при разложении $Mg(OH)_2$. Возможно, что форма пор менее благоприятна для самоподдерживающейся эмиссии. У катодов с многослойным катафорезным покрытием (рис. 3) явно проявилась зависимость величины тока от наличия сквозных пор.

Характеристики катодов с катафорезным покрытием располагаются левее характеристик опрыснутых катодов (рис. 2, 3). Решающую роль играет более равномерное распределение эмиссии по поверхности. Максимальная плотность тока с катафорезных покрытий оказывается

выше. Очевидно, что локальные плотности электронного тока позже начинают проявлять себя в роли инициатора срыва эмиссии.

Стабильность тока во времени иллюстрируется рис. 4. В течение 100 часов испытаны оптимальные варианты катодов с катафорезным покрытием и опрыскиванием. Спад эмиссии через 100 часов у первых катодов составляет 29, 8, 0% при начальных плотностях тока 2; 1; 0,5 ма/см², а у вторых — соответственно 48, 17, 6%.

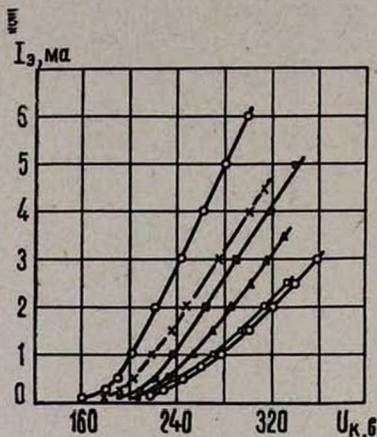


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики в зависимости от состава, метода и толщины покрытия катодов (ГУ-29). ○1—опрыснутый катод с составом 2 и толщиной покрытия 40 мк; ×2—опрыснутый катод с составом 2 и толщиной покрытия 50 мк; ●—опрыснутый катод с составом 2 и толщиной покрытия 70 мк; ■—опрыснутый катод с составом 2 и толщиной покрытия 100 мк; ○1'—опрыснутый катод с составом 3 и толщиной покрытия 40 мк; ×2'—опрыснутый катод с составом 3 и толщиной 50 мк; □—катод с катафорезным покрытием толщиной 10 мк; △—катод с катафорезным покрытием толщиной 30 мк.

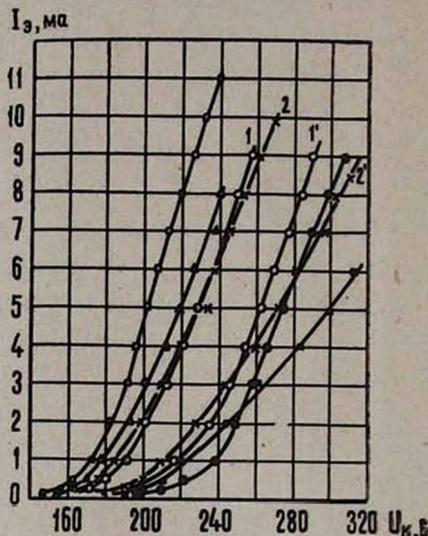


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики в зависимости от состава, метода и толщины покрытия катодов (ГУ-50). ○—катод с катафорезным покрытием толщиной 10 мк; ×—катод с катафорезным покрытием толщиной 30 мк; △—катод с многослойным катафорезным покрытием 30 мк, □—катод с многослойным катафорезным покрытием 40 мк; ●—катод с многослойным катафорезным покрытием 50 мк; ■—опрыснутый катод с составом 2 и толщиной покрытия 50 мк.

Применение экранирующей системы, состоящей из анодов ламп, лучевых пластин, собственных экранов ламп и специальной сетки, экранирующей баллон, увеличивает яркость свечения, а ток возрастает в полтора-два раза, если системе сообщается потенциал катода. Если экрану сообщается потенциал коллектора, ток, наоборот, уменьшается. При этом соответственно изменяется яркость всего свечения и особенно яркость светящихся точек.

Ток возрастает в результате бомбардировки поверхности катода электронами, не попавшими на коллектор—сетку и отраженными от экранирующей системы. Однако остается неясным, увеличился ли ток только за счет вторичных электронов, появившихся в результате бомбардировки, или этому также способствует процесс перераспределения положительных зарядов. Наблюдаемое резкое увеличение яркости свечения отдельных точек, т. е. мест со сквозными порами, по сравнению со свечением остальной поверхности катода возможно в том случае, если участки со сквозными порами имеют более высокий коэффициент вторичной эмиссии.

Влияние толщины покрытий. У катодов, покрытых катафорезом и опрыскиванием, есть оптимальные толщины покрытий катодов, обеспечивающие лучшие эмиссионные характеристики. Ухудшение эмиссионной способности с увеличением толщины покрытия иллюстрируется кривыми на рис. 2, 3.

Зависимость характеристик обоих типов катодов от толщины покрытия, по-видимому, обусловлена изменением внутреннего электричес

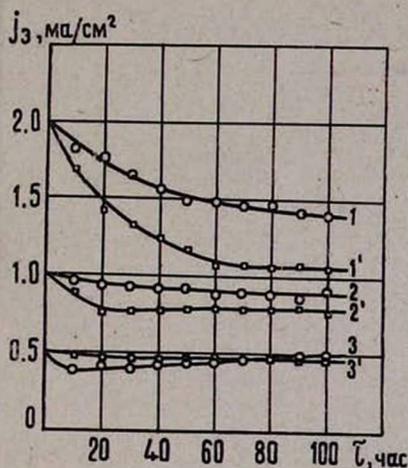


Рис. 4. Изменение плотности тока во времени (ГУ-29): ○ — катод с катафорезным покрытием толщиной 10 мк; □ — опрыснутый составом 2 катод с толщиной покрытия 50 мк.

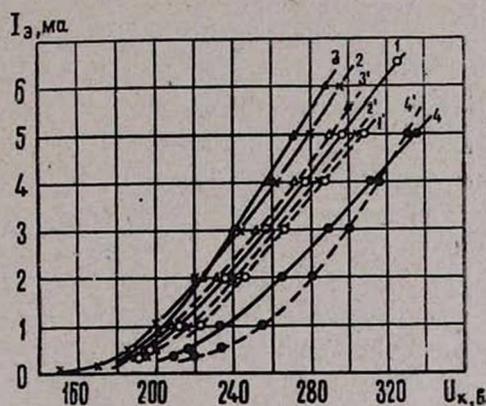


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики катодов с катафорезным покрытием в зависимости от числа циклов обработки кислородом (ГУ-50). 01, 01' — катод 10 и 30 мк; число циклов — 1; ×2, ×2' — катод 10 и 30 мк; число циклов — 2; △3, △3' — катод 10 и 30 мк; число циклов — 3; ●4, ●4' — катод 10 и 30 мк; число циклов — 6.

кого поля. Картина поля является сложной функцией многих аргументов. С возрастанием толщины покрытия снижается степень проникновения внешнего поля в поры и одновременно возрастает неоднородность распределения поля в слое с тенденцией уменьшения напряженности от керна к поверхности покрытия.

Уместно обратить внимание на температурную зависимость самоподдерживающейся эмиссии. В ряде работ установлена зависимость то-

ка эмиссии от температуры, имеющая обычный экстремум в области $T_k = 150-250^\circ\text{C}$. При этом катод имеет критическую температуру, выше которой эмиссия не самоподдерживается. Объективное увеличение эмиссии с повышением температуры должно приводить к увеличению положительных зарядов в слое и перераспределению поля, еще более способствующему устойчивой эмиссии. В действительности, это не имеет места, что можно объяснить следующим образом.

При повышении температуры электрическое сопротивление слоя понижается. Это приводит к уменьшению напряженности электрического поля внутри слоя, что в свою очередь уменьшает коэффициент вторичной эмиссии и приводит к срыву самоподдерживающейся эмиссии при достижении температуры, равной $T_{\text{крит.}}$.

С увеличением толщины покрытия слой окиси магния будет нагреваться проходящим током интенсивнее и скорость проявления процессов, связанных с повышением температуры, возрастет. В соответствии с изложенным можно объяснить уменьшение предельных значений плотностей тока с увеличением толщины покрытия.

В заключение отметим, что термическая десорбция кислорода, как инициатор срыва самоподдерживающейся эмиссии, менее вероятна, ввиду относительно низких значений критических температур ($350-400^\circ\text{C}$).

Влияние обработки кислородом. Количество циклов обработки катодов кислородом существенно влияет на ход характеристик (рис. 5, 6). У катодов с оптимальной толщиной покрытия наиболее левая характеристика получается при обработке тремя циклами. При увеличении числа циклов до 6—8 эмиссионная активность катода заметно ухудшается.

Какова же роль кислорода?

Общепринято, что кислород вводится для получения акцепторной примеси. Если исходить из этого положения, то трудно объяснить тот факт, что одни авторы получают существенную зависимость самоподдерживающейся эмиссии от количества вводимого кислорода [4], а другие [5] считают, что термическое окисление не является необходимой операцией для получения устойчивой эмиссии. Данная работа также подтверждает возможность эмиссии без операции окисления, однако следует отметить, что оптимальным для эмиссии оказался режим обработки с кислородом.

Не исключено, что помимо акцепторных уровней кислорода существуют донорные уровни избыточных атомов магния или каких-либо примесей. В связи с этим в каждом отдельном случае слой окиси магния будет иметь разную диэлектрическую прочность. А если существует ее оптимальное значение для процесса самоподдерживающейся эмиссии, то должна существовать также зависимость эмиссии оксидно-магниевого катода от режима обработки катода вообще и в частности от количества используемого при обработке кислорода.

Следовательно, экспериментально подбирая оптимальный режим обработки катодов, различные авторы в действительности придавали слою окиси магния диэлектрическую прочность, оптимальную для самосохраняющейся эмиссии.

Тогда ухудшение эмиссионных характеристик с увеличением числа доз кислорода (рис. 5, 6) можно объяснить чрезмерным повышением диэлектрической прочности слоя, хотя условия для дырочной проводимости не ухудшаются.

Снижение эмиссии в процессе работы произойдет в случае диссоциации частиц окиси магния с удалением кислорода. Тогда уменьшится дырочная проводимость и появятся избыточные атомы магния в кристаллической решетке.

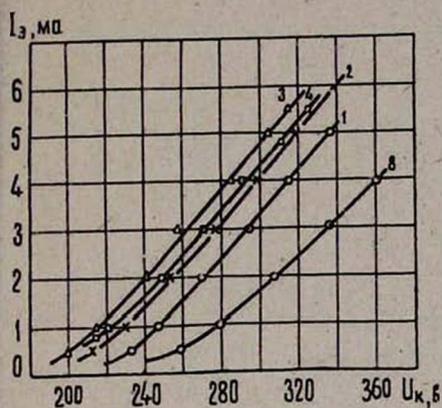


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики окисленных катодов с толщиной покрытия 40 мк в зависимости от числа циклов обработки кислородом (ГУ — 50).

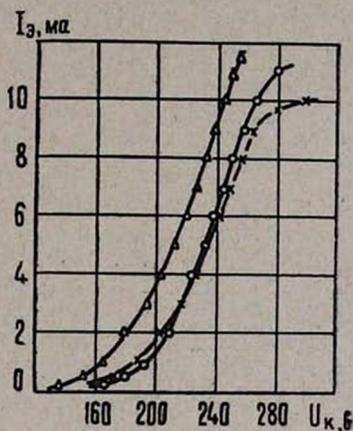


Рис. 7. Вольт-амперные характеристики катодов с различными ядрами (ГУ-29; опрыскивание; 40 мк); ○ — ядро из НИВО-3; × — ядро из НК-1; △ — ядро с прослойкой из чистого никеля шероховатостью 6 — 7 мк.

Роль кислорода, по-видимому, может быть установлена в результате дальнейшего изучения зонной структуры окиси магния в активированном покрытии.

Влияние ядра катодов. Эмиссионные характеристики катодов с различным материалом (НК-1 и НИВО-3), но с одинаковой биографией покрытия практически совпадают (рис. 7).

Катод с шероховатым ядром имеет более левую характеристику. Это может быть обусловлено как благоприятным влиянием прослойки из чистого никеля, так и увеличением напряженности электрического поля у острий шероховатости в приконтактном слое металл — слой MgO. Последнее обстоятельство способствует туннельной эмиссии и может привести к более интенсивному развитию лавинного умножения в глубоких слоях.

З а к л ю ч е н и е

Результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Устойчивая эмиссия с оксидно-магниевого катода может быть получена без операции окисления слоя, но плотность тока уменьшается в 3—3,5 раза ($0,7 \text{ ма/см}^2$).
2. Наибольшую плотность устойчивого тока с катода обеспечивает катафорезное покрытие толщиной 10—12 мк с тремя циклами активации кислородом.
3. Наличие карбоната магния в исходном составе благоприятно влияет на структуру покрытия. Равномерность распределения свечения на поверхности определяется степенью однородности структуры слоя. Светящиеся точки располагаются в местах сквозных пор, размеры которых определяют величину и яркость светящихся точек.
4. Шероховатость керна в 6—7 мк улучшает эмиссионную характеристику катодов.

Поступила 16.IX.1969

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Л. Шустина и др., Радиотехника и электроника, 7, 9, 1539 (1962).
2. Н. N. Daglish, Proc. I.E.E., 108B, 37, 103 (1961).
3. А. А. Перселени и В. А. Чижов, Электровакуумная техника, 37, 53 (1965).
4. Н. Я. Басалаева и др., Радиотехника и электроника, 6, 10, 1729 (1961).
5. Чжан Энь-Цю и др., Scientia Sinica, 15, 2, 167 (1966).
6. Н. Я. Басалаева и др., Радиотехника и электроника, 8, 5, 881 (1963).
7. Y. Mizushima и др., J. Phys. Soc. Japan, 15, 4, 729 (1960).

ՄԱԳՆԵԶԻՈՒՄ-ՕՔՍԻԴԱՅԻՆ ԻՆՔՆԱՊԱՀՊԱՆՎՈՂ ԷՄԻՍԻԱՅՈՎ ՍԱՌՀ ԿԱՏՈՒԻ ՈՐՈՇ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒՅՑՈՒՆՆԵՐԸ

Ռ. Գ. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ

Աշխատանքում քննարկվում է կատոդների ծածկույթի կազմի և հաստության ազդեցությունը նրանց էմիսիոն հատկությունների վրա: Ցույց է տրված էմիսիայի կայունության կախումը ծածկույթի նստեցման մեթոդից:

Նշվում են կատոդի վրա լուսարձակման բնորոշ հատկանիշները՝ կախված նմուշի նախապատրաստման եղանակից: Հաստատված է էմիսիայի կախվածությունը կատոդը թթվածնով վերամշակելու ցիկլերի թվից:

Ցույց է տրված կենսի նյութի և նրա մակերևույթի անոդորկության ազդեցությունը կատոդների էմիսիոն հատկության վրա:

ON SOME PARAMETERS OF A COLD MgO CATHODE WITH SELF-SUSTAINED EMISSION

R. G. ALEXANIAN

Effect of coating compound and its thickness on emission ability of cathodes is considered. Dependence of emission stability on the coating method is found. Features of cathode glow depending on prehistory of samples are noted. Dependence of emission on the number of oxygen processing cycles is established. The effect of substrate material and its roughness on cathodes emission is shown.