

УДК 621.384.8

В.С. Гуров, В.В. Солдатов**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА НА РАЗРУШЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ИНДИКАТОРОВ**

Исследовались разрушения электродов газоразрядных знаковинтезирующих индикаторов (ГЗСИ) с помощью электронной микроскопии. Проверялся механизм деградации электродов крупноэлементных газоразрядных знаковинтезирующих индикаторов при различных режимах эксплуатации. Цель работы – изучить механизм разрушений катодов крупноэлементных ГЗСИ и выработать рекомендации по предельным токам приборов. Исследованы электроды крупноэлементных ГЗСИ и получены фотографии рабочих поверхностей катодов. Изучены поверхности работавших титановых и проволочных катодов при значительном увеличении. Результаты будут использованы при разработке новых типов ГЗСИ.

Ключевые слова: ГЗСИ, травление поверхности, локальный разогрев, микродуги, кратеры, нормальный, аномальный разряд, долговечность.

Введение. Исследование характера разрушения методами электронной микроскопии имело целью изучить механизм разрушения электродов в условиях форсированного режима работы и выработать рекомендации по предельным режимам эксплуатации ГЗСИ. Для практического применения приборов имеет значение стабильность яркости свечения панели от образца к образцу, от партии к партии. Долговечность и стабильность яркости повышается применением импульсного режима управления. При непрерывной работе яркость ячеек снижается, с увеличением частоты и тока этот процесс ускоряется. Индикаторные ячейки возбуждают короткими импульсами тока высокой амплитуды, а яркость регулируется длительностью импульса. Необходимо установить критические значения тока и определить характер разрушения катодов ГЗСИ в форсированном режиме. Во время работы ГЗСИ поверхность катода подвергается интенсивному ионному облучению с энергией ионов, сравнимой или равной энергии прикатодного ускорения, что приводит к изменению состояния поверхности и выделению продуктов материала катода, как в атомарном, так и фрагментарном виде в рабочий объем прибора. Все это, в конечном счете, приводит к изменению параметров ГЗСИ. Ранее предпринимались попытки исследовать разрушенные рабочие поверхности электродов, однако измерения проводились для других материалов и газовых смесей [1-4].

Схематическая конструкция ГЗСИ. Схематическая конструкция прибора изображена на рисунке 1. Прибор содержит нижнюю стеклопла-

стину 1, катодную 2 и анодную 3 системы электродов и верхнюю лицевую 4 стеклопластину. Пакет герметизируется слоем стеклокристаллического цемента. К пакету из перечисленных деталей прикрепляется печатная плата 5, на которой производится распайка выводов электродов. В верхней стеклопластине имеются пазы, ширина которых соответствует ленточным катодным электродам. В нижней стеклопластине методом фрезерования образованы выступы напротив пазов. Таким образом, собирая стеклопакет, получаем 32х32 изолированные ячейки размером 3х3мм. Катодные электроды изготавливаются из титановой ленты методом фотолитографии.

На рабочую поверхность катода напыляется слой алюминиевой пленки для предохранения титана от окислов в процессе термообработки пакета.

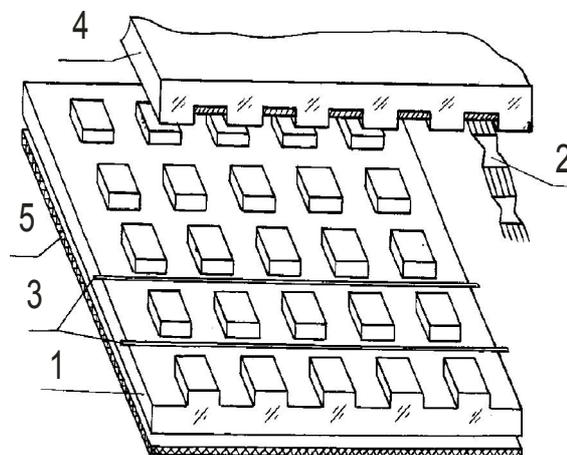


Рисунок 1 – Конструкция ГЗСИ

Конструкция крупноэлементной ГЗСИ изображена на рисунке 2. Прибор содержит нижнюю стеклопластину 1, на которой методом трафаретной печати сформированы 32х32 ячейки размером 4,9х4,9 мм. Методом пульверизации на нижнюю пластину нанесен люминофор 2. Анодная 3 и катодная 2 системы электродов изготовлены из проволоки 47НД (Ni-47%, Fe-47%, Cu-5%, остальное С, Si, Mn, S, P), причем катод состоит из пяти отдельных проволочек, а анод из двух. На нижнюю пластину вместе с системой электродов накладывается верхняя пластина 4. Панель герметизируется слоем стеклокристаллического цемента.

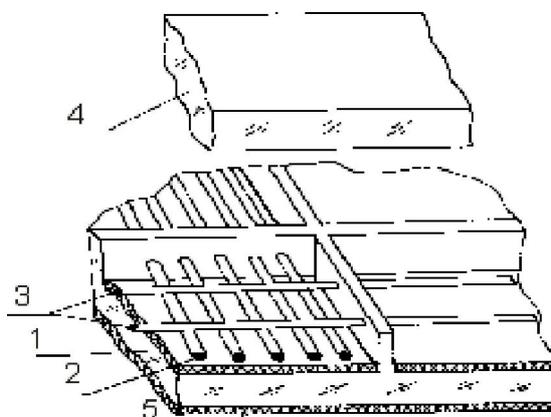


Рисунок 2 – Конструкция ГЗСИ с крупной ячейкой и люминофором

К собранному прибору приклеивается печатная плата 5, на которой производится распайка выводов электродов.

Влияние величины тока на разрушение электродов ГЗСИ. Воздействие тлеющего разряда оставляет следы на поверхности электрода. Изменение режима работы ГЗСИ сопровождается изменением характера тлеющего разряда, выделяющейся из разряда мощности и ее распределения по электроду. На рисунке 3 приведены фотографии поверхностей титановых электродов, покрытых алюминием путем испарения алюминия в вакууме. Поскольку алюминий при испарении осаждается на титан как в виде жидкой, так и в виде твердой концентрированной фазы, то при увеличении хорошо видна неоднородность и шероховатость покрытия, затвердевшие каплевидные образования на поверхности титана. Под воздействием тлеющего разряда и иницируемого им распыления катод из сплава 47НД приобретает характерную кристаллическую огранку [5]. Известно, что поверхности катодов, содержащих Ni, при обработке импульсным тлеющим разрядом приобретают

ярко выраженную зернистую структуру с резко очерченными границами и кристаллической огранкой зерен за более короткое время по сравнению с тлеющим разрядом на постоянном токе. Причем интенсивность этого процесса возрастает с увеличением плотности импульсного тока [6]. Характер сформированного микрорельефа определяется выходом на поверхность наиболее устойчивых граней [7–9].

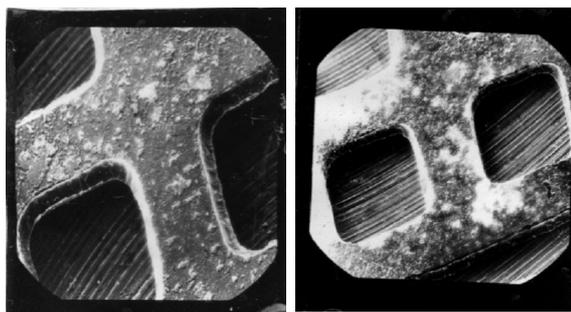


Рисунок 3 – Поверхность титанового электрода, покрытого алюминием

1 – после тренировки в течение 80 часов, при токе 5 мА, увеличение 100,

2 – после тренировки в течение 80 часов, при токе 15 мА, увеличение 70.

На рисунке 4 показана поверхность работавшего катода из сплава 47НД при увеличении. Видно, что основной несущий скелет сплава составляют зерна никеля (установлено анализатором электронного микроскопа). Каждое зерно (светлые пятна на рисунке 4) представляет собой монокристалл, а конгломераты зерен образуют систему отдельных звеньев скелета. В зависимости от кристаллографической ориентировки зерен рельеф их субмикроструктуры различен. Таким образом, тлеющий разряд взаимодействует с поверхностью зерен никеля или с поверхностью титана, покрытого неоднородной сильно шероховатой пленкой алюминия, имеющей многочисленные разрывы и островные образования. Неравномерное воздействие разряда на поверхность обусловлено не только шероховатостью покрытия с различной работой выхода, но и в значительной мере резко неоднородной геометрией самого катода, наличием острых краев, границ поверхностей, способствующих образованию в этих местах участков с повышенной напряженностью поля.

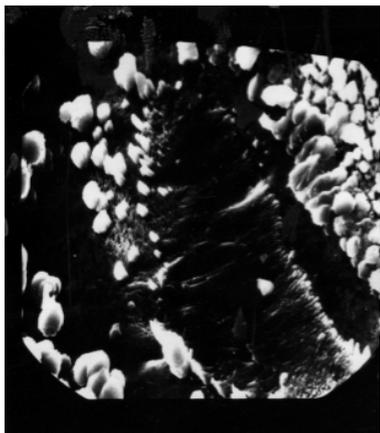


Рисунок 4 – Катод из сплава 47НД после тренировки в течение 80 часов, при токе 20мА, увеличение 3000

Таковыми участками являются в первую очередь границы отверстий, края проволочных электродов и участки, покрытые крупными алюминиевыми частицами неправильной геометрической формы. Существует предположение [3,4] о неравномерности распределения плотности тока по поверхности катода вследствие “пятнистости” его эмиссионных свойств из-за диэлектрических окисных пленок, частично покрывающих алюминий. Кроме того, известно [6] и теоретически доказано, что с увеличением энергии падающего иона увеличивается коэффициент распыления поверхности катода, т.е. увеличивается число испаряющихся атомов с поверхности. Поскольку энергии связи атомов в сплавах (например, в сплаве 47НД) для различных материалов отличаются друг от друга, то легко испаряющиеся материалы начинают удаляться от поверхности, обнажая трудноиспаряющийся остов. В результате на поверхности наблюдается картина травления поверхности тлеющим разрядом (рисунок 5,1 и участок(X) при увеличении 3000 – 5,2). Такой характер разрушения имеет место в режимах, когда горит нормальный тлеющий разряд. Тренировка ГЗСИ в форсированном режиме приводит к существованию сначала сверхплотного, а затем слабоаномального тлеющего разряда. Анализ разрушения поверхности методами электронной микроскопии в этих условиях показывает следующее: энергия падающих на поверхность катода ионов по гипотезе “теплового пятна” разогревает поверхность катода и способствует испарению его.

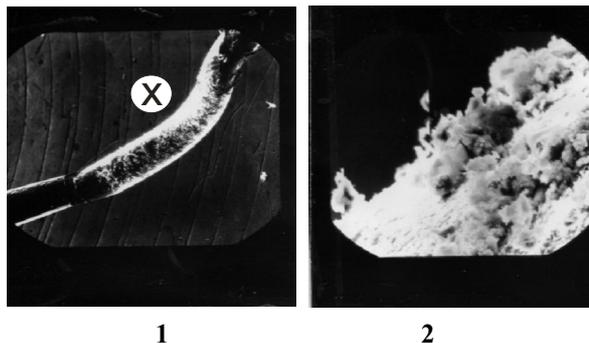


Рисунок 5 – Участок проволочного катода ГЗСИ до тренировки и после

1 – участок проволочного катода ГЗСИ после тренировки в течение 150 часов, при токе 5 мА, увеличение 70,

2 – участок (X) проволочного катода ГЗСИ после тренировки в течение 150 часов, при токе 5 мА, увеличение 3000.

Характер воздействия на поверхность катода при горении нормального и аномального тлеющих разрядов различен. В нормальном тлеющем разряде плотность тока такова, что обеспечивается лишь травление поверхности, т.е. испарение отдельных атомов или небольших групп атомов. В аномальном тлеющем разряде плотность энергии (за счет одновременного увеличения плотности тока j и напряжения U) и распределение ее столь неравномерно, что возможен разогрев локального микроучастка катода практически мгновенно до температуры плавления. При этом принципиально изменяется характер испарения: создается плотная струя пара, которая может служить причиной возникновения опорного пятна для микродуги. В форсированном режиме испытания ГЗСИ в разрядном промежутке возникает новая форма разряда – аномальный тлеющий разряд с отдельными участками микродуг. На возникновение микродуг в отдельных участках указывают резкие колебания напряжения горения. Подтверждением возникновения микродуг являются результаты анализа поверхности электрода. На рисунке 6 показаны микроструктуры кратеров на поверхности электродов при разном увеличении. По всей поверхности таких углублений насчитывается много (рисунок 6,1). Это свидетельствует, что переход тлеющего разряда в дуговой происходит не сразу по всей поверхности электрода ГЗСИ, а в отдельных участках, где первоначально формируются эти дуги. Механизм микродуги сводится к следующему. Поток ионов достаточно высокой энергии выделяет на локальном участке катода энергию, достаточную для мгновенного испарения микропятна (“теплового пятна”), т.е. локально часть вещества электрода переходит в сверхплотный

пар. Особенностью металла в состоянии сверхплотного пара является переход значительной части электронов на уровни, находящиеся выше уровня Ферми [8]. Таким образом, горячий сверхплотный пар является катодом с отличными эмиссионными свойствами (малой работой выхода). На участке сверхплотного пара плотность тока эмиссии может достигать $j = 10^{10} \div 10^{12} \text{ A/m}^2$.

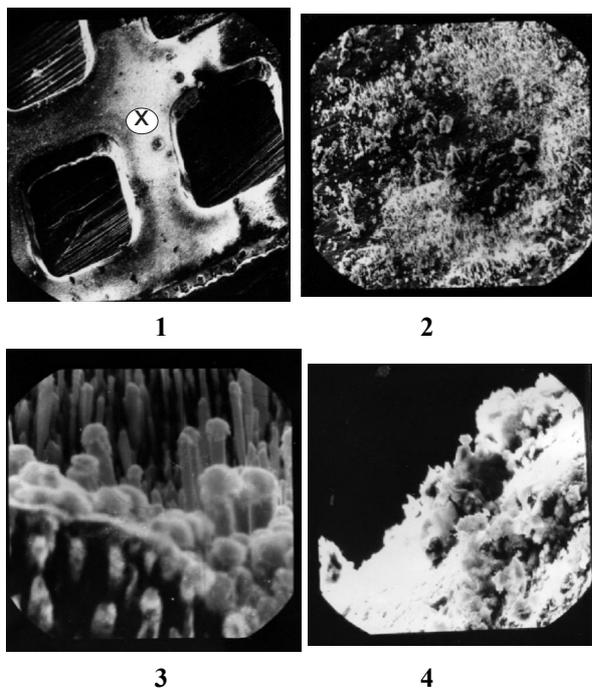


Рисунок 6 – Микроструктуры образования кратеров на поверхности электродов

1 – образование кратеров (X) на поверхности электрода при возникновении микродуг, при токе 20 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 70,

2 – участок катода, прошедшего испытания в форсированном режиме при токе 20 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 7000,

3 – интенсивное травление участка катода в форсированном режиме при токе 20 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 10000,

4 – оплавление кратерообразных углублений от воздействия микродуг в форсированном режиме при токе 20 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 3000.

Это указывает на возможность катодного пятна микродуги. При возникновении на катоде нескольких очагов с малой работой выхода весь ток на катоде практически обеспечивается ими, а остальная часть поверхности катода все меньше и меньше поставляет электронов в разряд. Поэтому напряжение горения на разрядном промежутке должно несколько уменьшаться. Исходя

из вышесказанного, можно высказать предположение, что в межэлектродном промежутке имеет место уже не однородный тлеющий разряд, а тлеющий разряд, пронизанный узкими шнурами микродуг со значительной плотностью тока. Высокая плотность тока в катодном пятне микродуги приводит к созданию высокотемпературного поля на микроучастке, что сопровождается интенсивным испарением и образованием кратера.

Испарение материала катода и осаждение микрочастиц на стекло видно на рисунке 7. Видно, что испарение происходит не только в виде отдельных частиц (светлые точки), но и кластеров (крупные ярко-белые микрообразования). Фотографии оплавленных кратеров при различных увеличениях представлены на рисунке 8. При увеличении 3000 видно оплавление иголок и выступов микроструктуры катода, а при 7000 наблюдаем их сплавление и общую деградацию катода ГЗСИ.

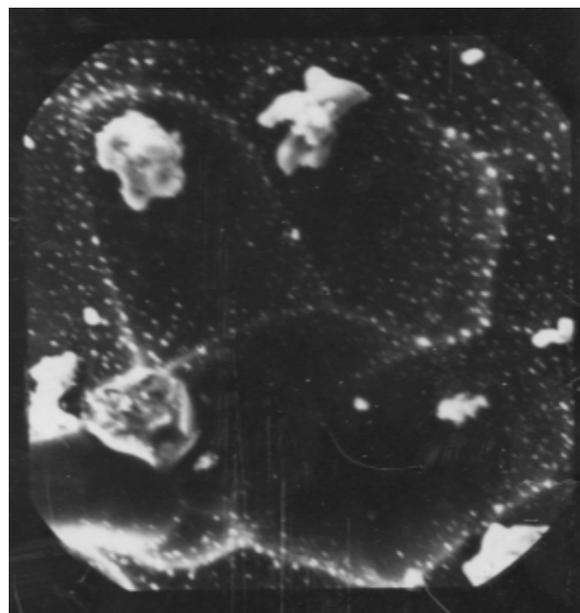


Рисунок 7 – Частицы алюминия, испаренные и осажденные на лицевом стекле ГЗСИ при токе 15 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 3000

Заключение. Сопоставление режимов испытания и картин эрозионного разрушения, полученных с помощью растрового электронного микроскопа "JOEL 200", показывает, что эрозия тем сильнее, чем выше ток в ГЗСИ и чем дольше длится время испытания. Эта закономерность сохраняется до тех пор, пока в ГЗСИ существует одна из форм тлеющего разряда и происходит эрозия "выветривания", т.е. ионного травления. В испытанных приборах ГЗСИ такой режим происходит при токах от 5 мА до 15 мА. При дальнейшем увеличении тока до 20 мА в разрядном промежутке происходит возникновение

микродуг, характер эрозии принципиально изменяется – образуются кратеры-воронки, эрозия резко возрастает. Поэтому режим испытаний ГЗСИ при токе 20 мА является граничным, так как при токах более 20 мА характер процессов принципиально изменяется и деградация катода носит неуправляемый лавинообразный характер (светлые пятна на рисунке 9). При токах выше 20 мА резко возрастает количество распыляемого материала катода, который запыхает лицевую пластину (рисунок 7) и люминофорное покрытие на нижней пластине.

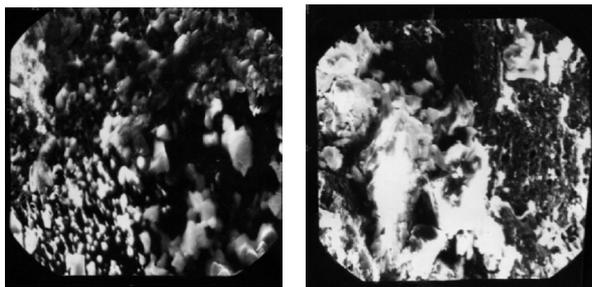


Рисунок 8 – Оплавленные кратеры на рабочих участках катода ГЗСИ

1 – участок оплавленного кратера в форсированном режиме при токе 20 мА, после тренировки в течение 150 часов, увеличение 3000,

2 – кратер с оплавленными краями при токе 20 мА, после тренировки в течение 80 часов, увеличение 7000.

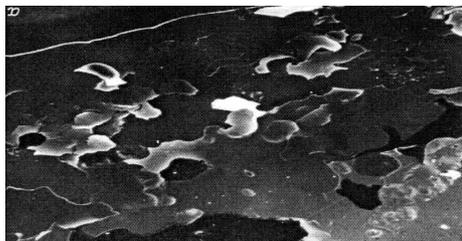


Рисунок 9 – Разрушения катода при токах 30 мА после тренировки в течение 80 часов, увеличение 70

Оба этих фактора значительно способствуют деградации катода, снижают яркость свечения ячейки, а в конечном итоге долговечность работы газоразрядных индикаторов в целом. Запыление лицевого стекла также приводит к значительному снижению яркости ячеек ГЗСИ и к увеличению времени запаздывания (за счет снижения внутренней освещенности ячейки).

Рекомендуемый ток для эксплуатации приборов ГЗСИ данного типа до 20 мА, в противном случае долговечность уменьшается с десятков тысяч до 10 – 80 часов [10]. Влияние тока также очень существенно – распыление пропорционально его изменению в степени 2–3 [1]. Распы-

ление в тяжелом газе таком, как криптон, сильнее, чем в легком, например в гелии [3]. Степень распыления металла катода определяется физико-химическими свойствами составляющих его элементов, например, распыление титана меньше, чем железа, а последнего меньше, чем меди. В зарубежных панелях постоянного тока используется железо-никелево-хромовый сплав, обладающий относительно малой скоростью распыления и хорошо согласующийся по коэффициенту линейного термического распыления с применяемыми стекломатериалами [11].

Библиографический список

1. Орлов Ю.И., Старынина Т.Г. О влиянии парциального жестчения аргона и смеси Пеннинга на долговечность ГИП. – Электронная техника. Сер. Электроввакуумные и газоразрядные приборы. 1977, вып.9. – с.32 – 38.

2. Oki. Panel Display. – 1975, Япония.

3. Jackson B.N., Johnson K.E. Gas Discharge Displays; A Critical Beview Advances in Electronics and Electron Physics. Smithsonian Institution Washington, 1976.

4. Wilson K.L. II J. Plasma Phys. and Thermonuclear Fusion. Specialissue. 1984. P. 85–94.

5. Чистяков П.Н. Зависимость нормальных катодных падений потенциала $U_{кн}$ в инертных газах от различных факторов. Сборник Физическая электроника под ред. П.Н. Чистякова. – М.: Атомиздат, 1966. вып.3. – С 4,10.

6. Ананьин В.С. и др. Некоторые физические процессы, происходящие при тренировке / Электронная техника. Сер. 4. Электроввакуумные и газоразрядные приборы: Науч.-техн. сб. / ЦНИИ "Электроника". – 1974. – Вып. 6. – С. 65–68.

7. Милованова Р.Л. Исследование работы выхода поверхности металлов в инертных средах: Дис. канд. техн. наук. – М.: МИФИ, 1969.

8. Распыление твердых тел под воздействием ионной бомбардировки/ под ред. Бериша – М.: Мир, 1984.

9. Изменение микрорельефа поверхности холодного катода в тлеющем разряде / В.С.Ананьин, Н.Г. Кашников, Л.Н. Поковосский и др. / Электронная техника. Сер. 3, Газоразрядные приборы: Науч.-техн. сб. / ЦНИИ "Электроника". – 1967. – Вып. 4. – С. 63–74.

10. Hiroo Hori, Koichi Kasahara, Katsuyuki Inone. A Picture Display Panel Using a Constricted Glow Discharge. – IEEE Transactions on Electron Devices, 1974, v.ED-21, N 6, p.372–376.

11. Lortetje J.H.J., de Vries G.H.F. A Two-Electrode-System DC Gas-Discharge Panel. Conf. Rec. Cons. Display Devices and System. New York City, 1974. N.Y., 1975, p.116–118.

12.IEE. Argus Alphanumeric Display Subsystems - 1977, США.