

48



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

Ю.Н. Пестов, К.Н. Путилин

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДОВ ДЛЯ ИСКРОВОГО  
СЧЕТЧИКА С ЛОКАЛИЗОВАННЫМ РАЗРЯДОМ

ПРЕПРИНТ 87-94



НОВОСИБИРСК

Исследование катодов для искрового счетчика  
с локализованным разрядом

Ю.Н. Пестов, К.Н. Путилин

Институт ядерной физики  
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

В работе исследуются амплитудные характеристики искрового счетчика с катодами из различных материалов: Cu, Ni, Al, нержавеющей стали, Ti, W, Ta, Mo. Описана установка для нанесения покрытий с помощью магнетронного распыления материалов. Приведено сравнение свойств полученных катодов с характеристиками других типов катодов.

ВВЕДЕНИЕ

Искровой счетчик с локализованным разрядом представляет собой два электрода, разделенные небольшим газовым зазором [1]. Анод изготовлен из полупроводящего материала с удельным сопротивлением  $10^9 - 10^{10}$  Ом·см. К проводящему катоду приложено постоянное напряжение выше порогового значения, при котором начинаются пробои от регистрируемых частиц. Локализация разряда осуществляется следующим образом. Благодаря конечной толщине полупроводящего электрода вокруг каждого первичного пробоя образуется область пониженного электрического поля. Специальная газовая смесь [2] поглощает в этой области фотоны от искры, и они не попадают в область сильного электрического поля. Таким образом, предотвращаются последующие пробои, и разряд оказывается локализованным.

Газовая смесь в искровом счетчике с локализованным разрядом должна обеспечивать поглощение фотонов в широкой области спектра, начиная с энергии фотонов, соответствующей работе выхода электронов из катода. Однако, оказалось практически трудно найти подходящую газовую добавку, поглощающую фотоны с длиной волны  $\geq 220$  нм. При этом для искровых счетчиков с медным катодом сразу после сборки не удавалось получить достаточную локализацию разряда [2]. Выход состоял в наработке полимерной пленки на электродах при работе искрового счетчика с  $\gamma$ -источником с целью увеличения работы выхода катода. После  $10^5 - 10^6$  разрядов/см<sup>2</sup> локализация разряда становилась удовлетворительной [2].

Этот метод вывода искрового счетчика на рабочие характеристики приводил к дополнительным затратам времени. Замечено также, что после длительного стояния счетчика без напряжения локализация ухудшается и для получения рабочих характеристик требуется дополнительная отработка с  $\gamma$ -источником. Поэтому предпринимались попытки найти материал катода, не требующий предварительной работы счетчика с  $\gamma$ -источником. В работе [2] было показано, что использование окиси олова в качестве покрытия катода существенно улучшает локализацию разряда сразу после сборки искрового счетчика, но она все же оставалась хуже локализации разряда в искровом счетчике с медным катодом после работы с  $\gamma$ -источником. Предварительные измерения локализации разряда с хромовым покрытием катода дали обнадеживающие результаты [3].

Данная работа посвящена последовательному изучению локализации разряда для различных материалов катода в идентичных условиях. В первой части работы описано изготовление катодов искрового счетчика нанесением пленок на стекло методом магнетронного катодного распыления материалов [4]. Во второй части приведено сравнение локализации разряда в искровом счетчике для различных материалов катодов сразу после сборки счетчика и после работы с  $\gamma$ -источником. В третьей части сравниваются свойства катодов, полученных по описанной выше технологии и ранее использованными методами изготовления катодов искрового счетчика.

### 1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТОДА ИСКРОВОГО СЧЕТЧИКА

Для изготовления катодов из разных материалов был выбран метод магнетронного катодного распыления веществ на стеклянный электрод. Достоинства этого метода состоят в отличной адгезии пленок, большой скорости распыления, возможности напыления практически любых материалов [4].

#### 1.1. Установка для магнетронного распыления

На рис. 1 приведена принципиальная схема установки, изготовленной для распыления металлов на катоды искрового счетчика. Она состояла из вакуумной камеры, где происходило распыление, вакуумных насосов, системы очистки и подачи газа, источников питания разряда и напряжения смещения.

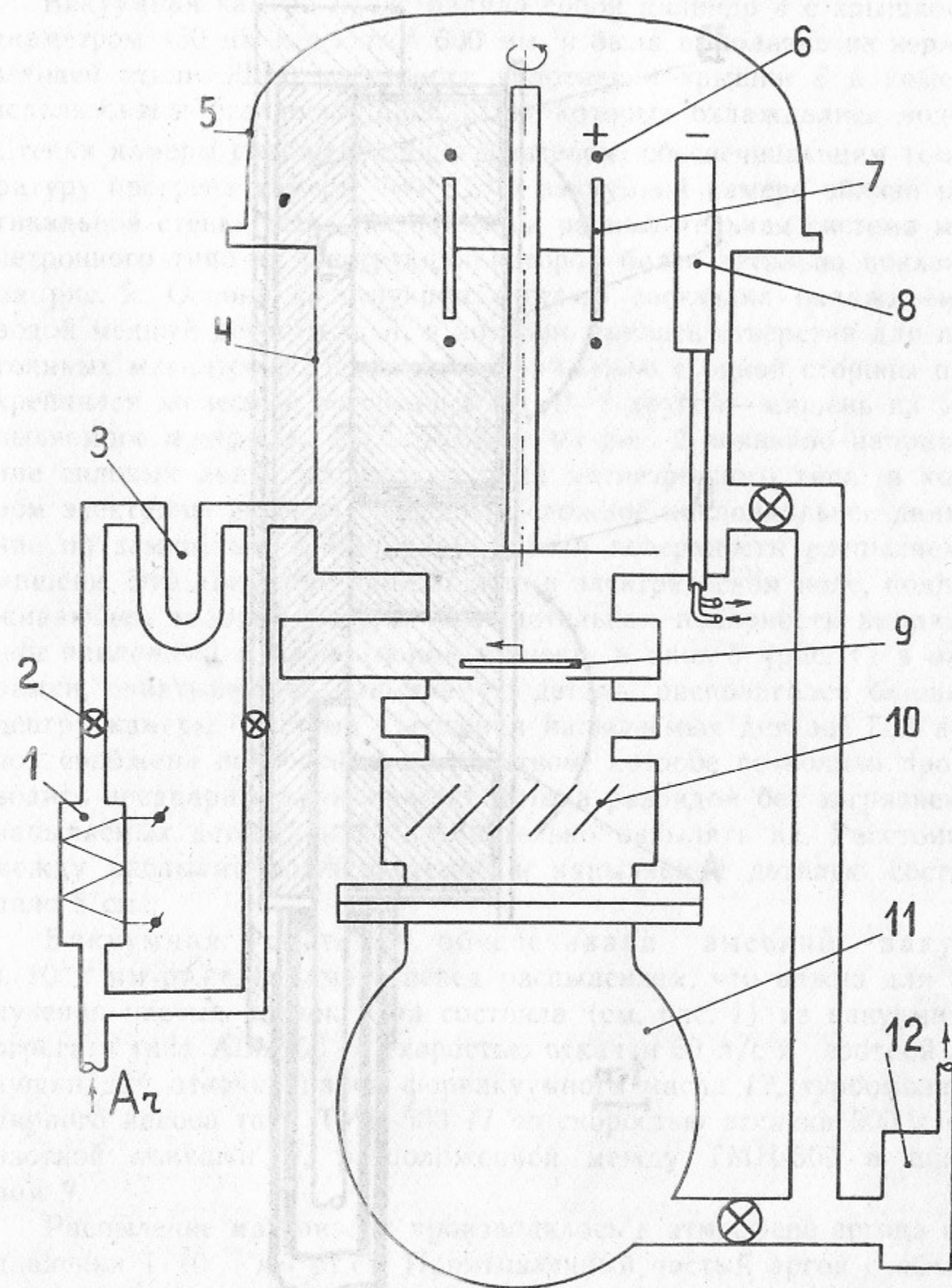


Рис. 1. Принципиальная схема установки для магнетронного распыления материалов.

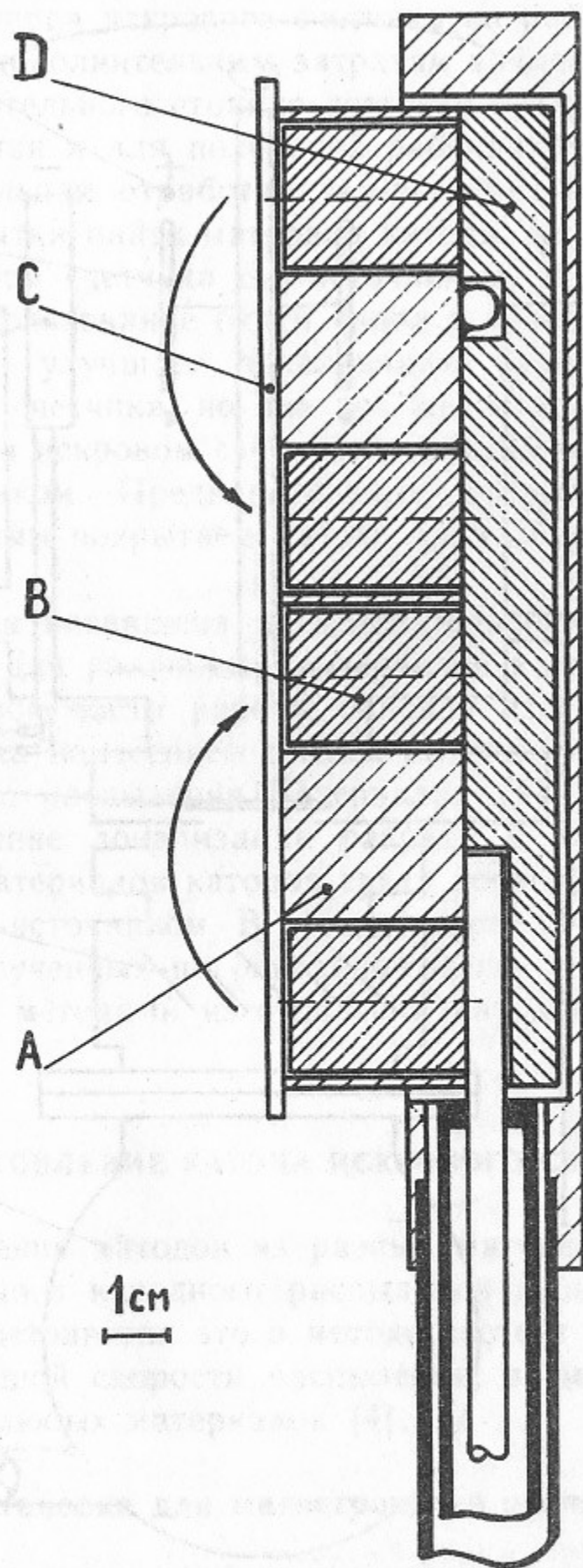


Рис. 2. Конструкция магнетронной распылительной системы.

Вакуумная камера представляла собой цилиндр 4 с крышкой 5 диаметром 450 мм и высотой 600 мм, и была выполнена из нержавеющей стали. Для вакуумного уплотнения крышки 5 и камеры использованы резиновые прокладки, которые охлаждались водой. Стенки камеры снабжены подогревателем, обеспечивающим температуру прогрева камеры  $100^{\circ}\text{C}$ . В вакуумной камере вблизи вертикальной стенки была расположена распылительная система магнетронного типа 8, конструкция которой более детально показана на рис. 2. Основу конструкции системы составлял охлаждаемый водой медный держатель А, в котором имелись отверстия для постоянных магнитов В. К медному держателю с одной стороны прикреплялся железный магнитопровод D, с другой — мишень из распыляемого материала С. Стрелками на рис. 2 показано направление силовых линий магнитного поля магнетронного типа, в котором электроны разряда совершали сложное циклоидальное движение по замкнутым траекториям вблизи поверхности распыляемой мишени. Это движение происходило в электрическом поле, поддерживающем газовой разряд. Отрицательная полярность напряжения приложена к распыляемой мишени, а анод 6 (рис. 1) в виде рамки, охватывавшей напыляемую деталь, располагался ближе к центру камеры. Система крепления напыляемых деталей 7 и анодов снабжена поворотным устройством, которое позволяло производить предварительную очистку катода разрядом без загрязнения напыляемых деталей и последовательно напылять их. Расстояние между распылительной системой и напыляемой деталью составляло 8 см.

Вакуумная система обеспечивала высокий вакуум  $1 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. в камере перед распылением, что важно для получения чистых пленок. Она состояла (см. рис. 1) из вакуумного агрегата типа АВМ-50 со скоростью откачки 50 л/с и азотной ловушки для откачки паров форвакуумного масла 12, турбомолекулярного насоса типа ТМН-500 11 со скоростью откачки 500 л/с и азотной ловушки 10, расположенной между ТМН-500 и шибром 9.

Распыление материалов производилось в атмосфере аргона при давлении  $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт.ст. Промышленный чистый аргон с объемной долей аргона 99,992% дополнительно очищался от кислорода с помощью хром-никелевого катализатора 1 при добавлении нескольких процентов водорода [5]. Перед впуском в вакуумную камеру аргон пропусклся через азотную ловушку 3. Рабочий поток газа регулировался с помощью игольчатого клапана 2.

В качестве источника питания для газового разряда применялся выпрямитель типа БП-100, который выпускается для магнито-разрядного насоса «НОРД». Максимальный ток прибора составляет 600 мА. Для подачи напряжения смещения на напыляемую пленку во время разряда использовался выпрямитель ВСП-200 на максимальное напряжение 200 В.

## 1.2. Напыление катодов искрового счетчика

В качестве основы для катодов были использованы полированные стеклянные электроды размером  $150 \times 120 \times 10$  мм. Перед напылением проводилась стандартная процедура подготовки поверхности электродов, состоящая из промывки органическим растворителем, обезжиривания с помощью полировочной пасты из окиси церия, тщательной промывки дистиллированной водой и последующей сушки.

В данной работе производилось напыление следующих металлов: Cu, Ni, Al, нержавеющая сталь, Ti, W, Ta и Mo. В конечном виде катод искрового счетчика представлял собой многопленочное покрытие на стеклянном электроде. Проводящую основу каждого катода составляли два медных слоя толщиной 1,5 мкм, напыленные на подслой из нержавеющей стали. После напыления первого слоя меди проводилась стандартная процедура подготовки поверхности для удаления случайных дефектов и пыли. Исследуемый слой металла напылялся последним. Для лучшей адгезии к меди Ti, W, Ta и Mo были напылены через дополнительный подслой никеля. Единственным исключением был алюминиевый катод, состоявший из двух слоев алюминия, напыленных непосредственно на стеклянный электрод.

Цикл напыления состоял из откачки системы на высокий вакуум в течение 1,5 часов при прогреве стенок вакуумной камеры до температуры  $100^\circ \text{C}$ . Затем производилось напыление в атмосфере аргона при давлении  $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт.ст., токе разряда 600 мА и напряжении 250 В, которое слегка зависело от распыляемого материала. Напряжение смещения 50 В, при токе 20 мА прикладывалось к напыляемой пленке для повышения ее чистоты и твердости [6]. Время напыления для всех материалов составляло 6 мин. Исключением были подслой нержавеющей стали на стекле и слой алюминия, где время напыления, соответственно, равнялось 1 и 10 мин.

## 2. ЛОКАЛИЗАЦИЯ РАЗРЯДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАТОДА

В работе с различными материалами катодов был использован один и тот же искровой счетчик. Зазор между электродами составлял 0,09 мм, размер чувствительной области  $110 \times 110$  мм. Перед каждой сборкой счетчика проводилась стандартная подготовка электродов, аналогичная описанной выше процедуре перед напылением катодов. В качестве наполнения использовалась стандартная газовая смесь, поглощающая фотоны с энергией выше 6,2 eV: 0,3 атм. дивинила + 0,23 атм. этилена + 1,2 атм. изобутана + аргон при полном давлении 12 атм. [7].

### 2.1. Локализация разряда в начале работы искрового счетчика

В качестве критерия степени локализации разряда в искровом счетчике выбрана величина среднего заряда, снимаемого со счетчика. На рис. 3 показана зависимость среднего заряда от перенапряжения на искровом счетчике, где под перенапряжением понимается отношение рабочего напряжения к пороговому, при котором начинается регистрация частиц. Эти характеристики были наблюдаемы сразу после сборки счетчика и характеризуют квантовую эффективность катодов по отношению к спектру излучения искры в стандартной газовой смеси. Квантовая эффективность катодов уменьшается в следующей последовательности: Cu, Ni, Al, нержавеющая сталь, Ti, W, Ta, Mo. Эффект увеличения работы выхода в этом ряду металлов по-видимому связан со степенью окисления и качеством окисной пленки, которая образуется на поверхности катодов во время их сборки [8].

### 2.2. Влияние полимерной пленки на локализацию разряда

Во время работы искрового счетчика на его электродах образуется полимерная пленка, которая изменяет характеристики счетчика. На рис. 4 показана зависимость среднего заряда, снимаемого с искрового счетчика, от перенапряжения для различных катодов после работы с  $\gamma$ -источником, когда характеристики счетчика стабилизируются. Число срабатываний искрового счетчика, необходимое для вывода его в рабочий режим, возрастало с увеличением квантовой эффективности катода и составляло  $10^5 - 10^6$  разрядов/см<sup>2</sup>. Из рис. 4 видно, что после работы с  $\gamma$ -источником локализация разряда не зависит от материала катода и определяется

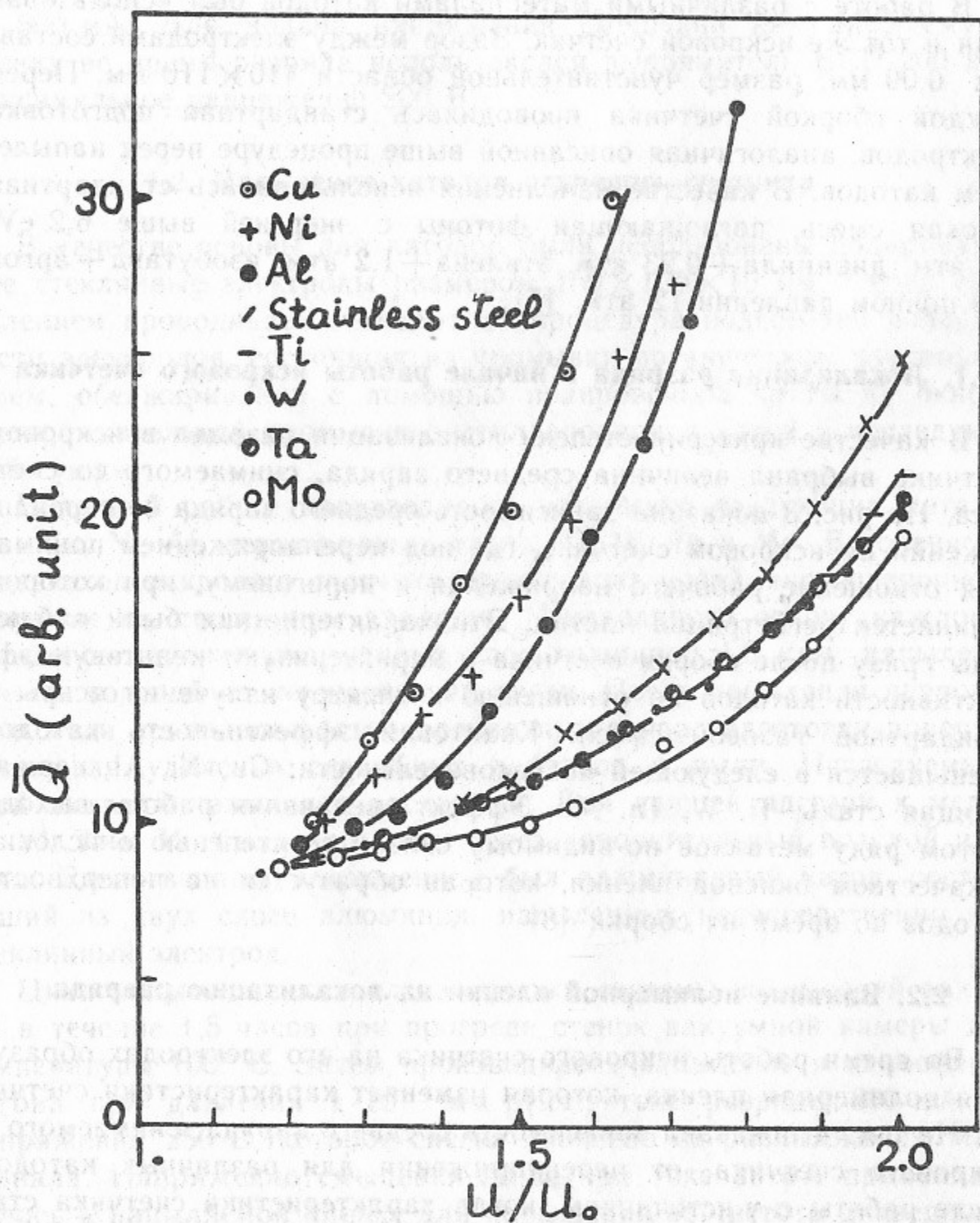


Рис. 3. Зависимость среднего заряда со счетчика от перенапряжения сразу после сборки счетчика для различных материалов катода.

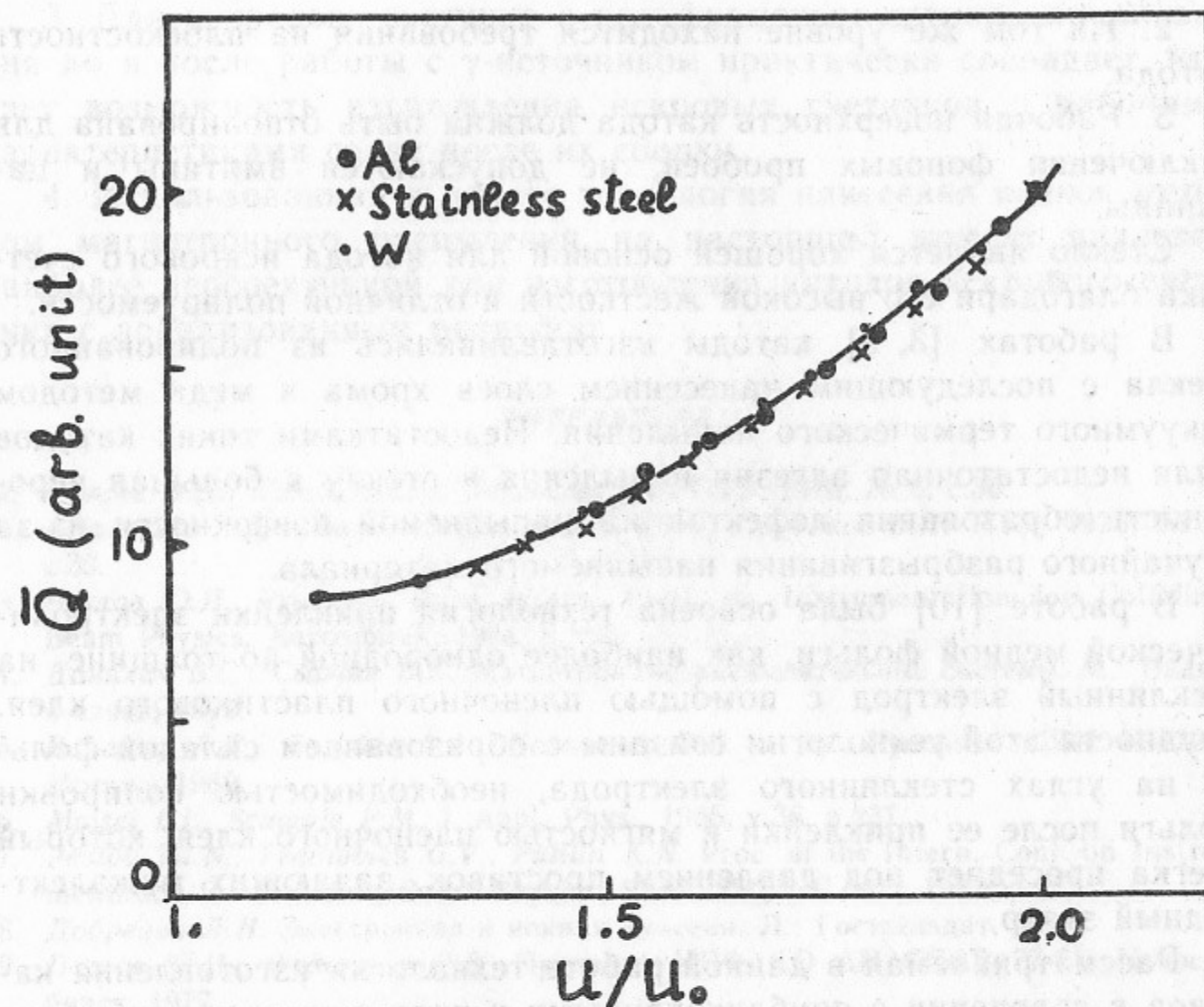


Рис. 4. Зависимость среднего заряда со счетчика от перенапряжения после работы с  $\gamma$ -источником для различных материалов катода.

свойством полимерной пленки и выбранной газовой смесью. Для вольфрамового катода локализация разряда после работы с  $\gamma$ -источником (рис. 4) и сразу после сборки счетчика (рис. 3) практически совпадают. Использование вольфрамового катода дает возможность изготовления искровых счетчиков с локализованным разрядом, готовых к эксплуатации сразу после их сборки.

### 3. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТОДОВ ДЛЯ ИСКРОВЫХ СЧЕТЧИКОВ

Катод плоского искрового счетчика должен удовлетворять ряду основных требований:

1. Механическая жесткость катода должна противостоять давлению электростатических сил, чтобы прогиб катода не превышал 2—3% зазора между электродами.

2. На том же уровне находятся требования на плоскостность катода.

3. Рабочая поверхность катода должна быть отполирована для исключения фоновых пробоев, не допускаются вмятины и царапины.

Стекло является хорошей основой для катода искрового счетчика благодаря его высокой жесткости и отличной полируемости.

В работах [3, 9] катоды изготавливались из полированного стекла с последующим нанесением слоев хрома и меди методом вакуумного термического напыления. Недостатками таких катодов были недостаточная адгезия напыления к стеклу и большая вероятность образования дефектов на напыляемой поверхности из-за случайного разбрызгивания напыляемого материала.

В работе [10] была освоена технология приклейки электролитической медной фольги, как наиболее однородной по толщине, на стеклянный электрод с помощью пленочного пластикового клея. Трудности этой технологии связаны с образованием складок фольги на углах стеклянного электрода, необходимостью полировки фольги после ее приклейки и мягкостью пленочного клея, который слегка проседает под давлением проставок, задающих межэлектродный зазор.

Рассматриваемая в данной работе технология изготовления катодов в сравнении с опубликованными к настоящему времени способами имеет несомненные преимущества. Отличная адгезия пленок к стеклу, большая скорость распыления, напыление практически любых материалов и возможность изготовления автоматической линии с высокой производительностью — все эти достоинства позволяют рассматривать данную технологию как одну из наиболее перспективных применительно к изготовлению катодов для искровых счетчиков с локализованным разрядом.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведем основные выводы данной работы.

1. На локализацию разряда в искровом счетчике сразу после его сборки сильное влияние оказывает материал катода.

2. После регистрации  $10^6$  искр./см<sup>2</sup> от  $\gamma$ -источника локализация разряда для исследованных катодов не зависит от материала катода и определяется свойствами полимерной пленки и газовой смеси.

3. Для искрового счетчика с вольфрамовым катодом локализация до и после работы с  $\gamma$ -источником практически совпадает, что дает возможность изготовления искровых счетчиков с рабочими характеристиками сразу после их сборки.

4. Используемая в работе технология нанесения пленок методом магнетронного распыления на настоящий момент является наиболее перспективной для изготовления катодов искрового счетчика с локализованным разрядом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лаптев В.Д., Пестов Ю.Н., Петровых Н.В. ПТЭ, 1975, № 6, с.36.
2. Афанасьев А.Д., Лаптев В.Д., Пестов Ю.Н., Санников Б.П. ПТЭ, 1975, № 6, с.39.
3. Пестов Ю.Н. Proc. of Third Intern. Conf. on Instrumentation for Colliding Beam Physics, Novosibirsk, 1984, p.163.
4. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982.
5. Барабаш А.С., Голубев А.А., Казаченко О.В. и др. Препринт ИЯИ П-0228, Москва, 1982.
6. Maisel L.I., Schaible P.M. J. Appl. Phys., 1965, v.36, p.237.
7. Pestov Yu.N., Fedotovich G.V., Putilin K.N. Proc. of the Intern. Conf. on Instrumentation for Colliding Beam Physics, SLAC-250, UC-34D, 1982, p.127.
8. Добрецов Л.Н. Электронная и ионная эмиссия. Л.: Гостехиздат, 1952.
9. Пестов Ю.Н., Федотович Г.В. Препринт ИЯФ СО АН СССР 77-78, Новосибирск, 1977.
10. Atwood W.B., Bowden G.B., Bonneaud G.R et al. NIM, 1983, v.206, p.99.
11. Ogawa A., Atwood W.B., Fujiwara N., Pestov Yu.N. and Sugahara R. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1984, NS-31, p.121.

Ю.Н. Пестов, К.Н. Путилин

**Исследование катодов для искрового счетчика  
с локализованным разрядом**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

---

Работа поступила 27 мая 1987 г.  
Подписано в печать 23.07.1987 г. МН 08281  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,4 печ.л., 1,1 уч.-изд.л.  
Тираж 190 экз. Бесплатно. Заказ № 94

---

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*