

УДК 538.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ  
УПРАВЛЯЕМОЙ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

В. Г. ГАВАЛЯН, А. Н. АРВАНОВ, С. М. ГУКАСЯН

Ереванский физический институт

М. П. ЛОРИКЯН

Ереванский политехнический институт

(Поступила в редакцию 4 апреля 1983 г.)

Приведены результаты исследования детекторов управляемой вторичной электронной эмиссии с пористым слоем криолита в качестве рабочего вещества при прохождении  $\alpha$ -частиц с энергией 5,5 МэВ и  $\gamma$ -квантов с энергией 6 кэВ. Приведены статистические распределения числа эмиттированных электронов из эмиттера детектора. Исследован также диэлектрический детектор с рабочим веществом в виде пористых слоев  $KBr$  и криолита. Показано, что по рабочим характеристикам эти детекторы сходны с ранее изготовленными детекторами с рабочим веществом  $CsI$  и  $KCl$ . Описаны диэлектрические детекторы с рабочим веществом  $CsI$  и  $KBr$ , изготовленные по новой, позволяющей упростить сборку и эксплуатацию, технологии.

Явление управляемой вторичной электронной эмиссии (УВЭЭ) из пористых диэлектрических слоев, находящихся в сильных электрических полях ( $E \approx 10^4 - 10^5$  В/см), было исследовано в работах [1—5]. В последние годы были созданы детекторы частиц на основе этого явления [6—13]. Малое количество вещества на пути детектируемой частицы, хорошие координатная ( $\Delta x \sim 10^{-2}$  см) и временная ( $\Delta t < 10^{-9}$  с) характеристики открывают большие возможности и перспективы для использования таких детекторов в экспериментах по ядерной физике и физике элементарных частиц.

В настоящей работе приведены результаты исследования работы детекторов управляемой вторичной электронной эмиссии (ДУВЭЭ) с рабочим веществом из пористого диэлектрического слоя криолита ( $Na_2AlF_6$ ) при облучении  $\alpha$ -частицами с энергией 5,5 МэВ и  $\gamma$ -квантами с энергией 6 кэВ от радиоактивного источника  $^{67}Co$ . Обсуждается также работа диэлектрического детектора, в котором в качестве рабочего вещества использованы криолит и  $KBr$ .

Пористые диэлектрические слои криолита изготовлялись по той же технологии, что и  $CsI$ ,  $KCl$ ,  $KBr$  и  $LiF$  [14]. Экспериментальная установка, методика измерения характеристик и конструкция детекторов УВЭЭ и ДД подробно описаны в работах [4, 6].

При облучении детектора  $\gamma$ -квантами были сняты распределения числа вторичных электронов при разных значениях напряженности электрического поля в слое. Из-за невозможности организовать мастер (для управ-

лений схемой совпадения на входе анализатора) спектры вторичных электронов были получены вычитанием спектра вторичных электронов без облучения детектора  $\gamma$ -квантами (фона) из спектра, снятого при облучении  $\gamma$ -квантами.

1. Изучались детекторы УВЭЭ с эмиттерами из криолита с относительной плотностью  $\rho/\rho_0 \cdot 100\% = 0,8\%$  ( $\rho$  — плотность пористого слоя,  $\rho_0$  — начальная плотность криолита) и толщиной  $d = (100, 200, 300)$  мкм. На рис. 1 приведены статистические распределения числа вторичных элект-

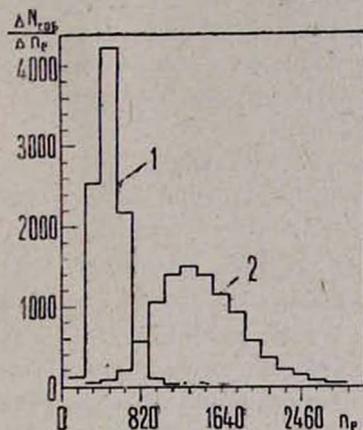


Рис. 1.

Рис. 1. Статистические распределения числа эмиттированных электронов для пористого слоя криолита толщиной  $d = 200$  мкм при прохождении  $\alpha$ -частиц с энергией 5,5 МэВ: 1 —  $E = 2 \cdot 10^4$ ; 2 —  $E = 2,5 \cdot 10^4$  В/см.

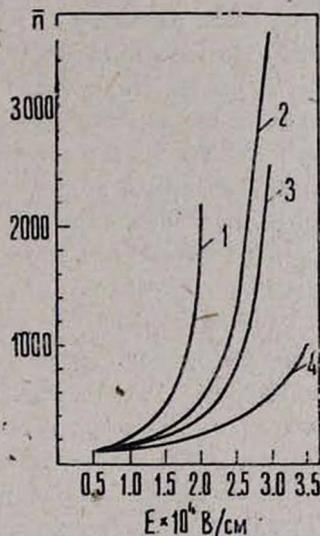


Рис. 2.

Рис. 2. Зависимость средних значений  $\bar{n}$  — числа эмиттированных электронов — от напряженности  $E$  в слое: 1 —  $d = 300$ , 2 —  $d = 200$ , 4 —  $d = 100$  мкм; 3 —  $d = 200$  мкм на подложке из мелкоструктурной сетки.

тронов для детектора с рабочим веществом из криолита толщиной 200 мкм при напряженности электрического поля в слое  $E = 2 \cdot 10^4$  В/см (1) и  $E = 2,5 \cdot 10^4$  В/см (2). По оси ординат отложено число событий с данным числом вторичных электронов ( $\Delta N_{\text{cob}}/\Delta n_e$ ), а по оси абсцисс — число  $n_e$  эмиттированных в каждом отдельном случае электронов. Кривые нормированы на одинаковое число проходящих через слой  $\alpha$ -частиц. Видно, что распределения имеют четко выраженные максимумы и с увеличением  $E$  наблюдается увеличение среднего числа эмиттированных электронов.

На рис. 2 приведены зависимости средних значений числа вторичных электронов от напряженности электрического поля в слое, т. е. вольт-эмиссионные характеристики (ВЭХ) для вышеуказанных детекторов. Из рисунка следует, что при одинаковых значениях напряженности поля в слое в детекторах с более толстыми слоями рабочего вещества эмиттируется большее число вторичных электронов. Это обусловлено тем, что в толстых слоях первичная частица образует больше истинно вторичных электронов и, кроме того, в более толстых слоях число каскадов размножения больше.

2. Важной характеристикой детекторов на основе УВЭЭ является относительное среднеквадратичное отклонение распределения числа вторичных электронов ( $\sigma/\bar{n}$ ), которое в конечном счете определяет относительное среднеквадратичное отклонение электрических импульсов на выходе детекторов, что, в свою очередь, определяет энергетическое разрешение детекторов частиц на основе явления УВЭЭ.

Измерения показали, что для исследованных нами пористых слоев  $KCl$ ,  $MgO$ ,  $KBr$ ,  $LiF$  и криолита, использованных в качестве рабочих сред детекторов УВЭЭ, параметр  $\sigma/\bar{n}$  принимает значения от 70 до 80% [15].

В этих работах в эмиттерах детекторов управляющую мелкоструктурную сетку мы располагали так, чтобы она имела контакт с поверхностью пористого слоя. Но так как вблизи сетки электростатическое поле неоднородно, то в разных местах этой области в пористом слое размножение электронов происходило по-разному. Это вносило существенный вклад во флюктуацию числа эмиттированных электронов.

В одном из детекторов управляющая мелкоструктурная сетка в эмиттере вторичных электронов была помещена на расстоянии 50 мкм от поверхности слоя криолита ( $d = 200$  мкм,  $\rho/\rho_0 \cdot 100\% = 0,8\%$ ). В этом случае неоднородность электрического поля в слое была значительно ниже, чем в предыдущих случаях. Измерения показали, что в этом случае  $\sigma/\bar{n}$  при разных значениях электрического поля в слое принимает значения от 35 до 60%, т. е. конструкция детектора вносит большой вклад во флюктуацию числа эмиттированных электронов. Усовершенствование конструкции, естественно, приведет к уменьшению  $\sigma/\bar{n}$  и к улучшению энергетического разрешения детектора.

3. Во всех этих исследованиях подложкой пористых слоев эмиттера вторичных электронов в детекторах служила алюминиевая фольга толщиной 7 мкм. Очевидно, что в детекторах сильно ионизирующих частиц наличие подложки нежелательно. В одном из детекторов алюминиевая фольга была заменена мелкоструктурной сеткой, имеющей прозрачность  $\sim 70\%$ .  $\alpha$ -частицы, попадавшие на образующие сетки, поглощались. Следовательно, регистрировались только те частицы, которые проходили через ячейки подложки и управляющей сетки.

Кривая 3 на рис. 2 иллюстрирует вольт-эмиссионную характеристику детектора с эмиттером, подложкой которого служила мелкоструктурная сетка. Видно, что по сравнению с детектором, в котором подложкой пористого слоя была алюминиевая сплошная фольга (кривая 2), детектор с сетчатой подложкой имеет более высокое рабочее напряжение. По-видимому, это обусловлено тем, что средняя напряженность электрического поля в этом случае слабее, чем в случае сплошной подложки. Кроме того в этом случае значение  $\sigma/\bar{n}$  больше. Тем не менее этот детектор, как и все остальные, имеет эффективность регистрации 100% и может быть успешно применен для регистрации сильно ионизирующих частиц.

4. На рис. 3 приведены спектры вторичных электронов для описанного выше детектора с сетчатой подложкой при разных напряженностях поля в слое при облучении детектора  $\gamma$ -квантами с энергией 6 кэВ. Все кривые нормированы на одинаковое число попавших на пористый слой  $\gamma$ -кван-

тов. Видно, что с увеличением напряженности растет число событий с образованием большего числа электронов и вообще число событий регистрации  $\gamma$ -квантов, т. е. эффективность регистрации детектора возрастает.

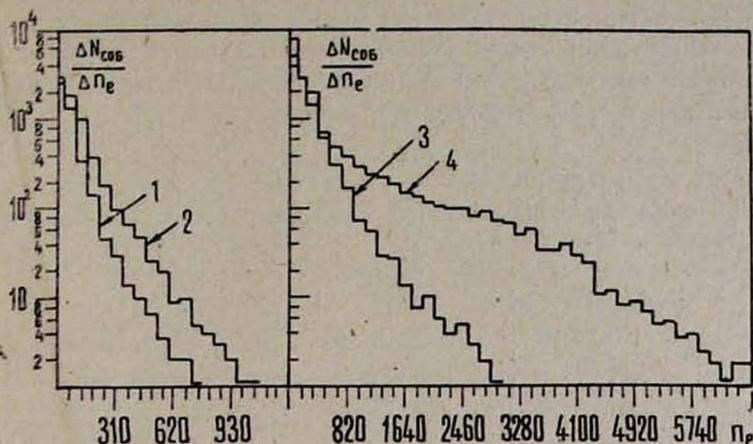


Рис. 3. Статистические распределения числа  $n_e$  эмиттированных электронов из пористого слоя криолита толщиной  $d = 200$  мкм на подложке из мелкоструктурной сетки при прохождении  $\gamma$ -квантов: 1 —  $E = 2 \cdot 10^4$ ; 2 —  $E = 2,5 \cdot 10^4$ ; 3 —  $E = 3 \cdot 10^4$ ; 4 —  $E = 3,5 \cdot 10^4$  В/см.

5. Пористые слои  $KBr$  и криолита нами впервые были использованы в качестве рабочих сред в диэлектрических детекторах (ДД) частиц. Измерения со слоем  $KBr$  показали, что по эффективности регистрации заряженных частиц и стабильности работы эти детекторы аналогичны детекторам с рабочим веществом  $CsI$  и  $KCl$ .

В настоящей работе мы изменили технологию изготовления рабочих сред в случае  $CsI$  и  $KBr$ , а именно, после изготовления пористые гигроскопичные слои  $CsI$  и  $KBr$  были выдержаны в атмосфере. Электронно-микроскопические снимки среза и поверхности этих слоев, снятые на электронном микроскопе ISM-U-3 при увеличении в 15000 раз, показали, что при длительном контакте с атмосферным воздухом увеличиваются размеры пор и уменьшается толщина напыленного слоя. Кроме этого пористый слой становится механически крепким. Применение таких рабочих сред в ДД более желательно, так как намного упрощается технологический процесс изготовления детекторов. Измерения показали, что двухчасовой контакт пористого слоя с атмосферным воздухом приводит лишь к 20% сдвигу кривой эффективности регистрации в сторону больших рабочих напряжений, не меняя при этом вида кривой. Более длительный контакт с атмосферным воздухом делает эти слои непригодными для использования в детекторах.

Особый интерес представляет применение криолита в качестве рабочего вещества в ДД. Негигроскопичность и высокий коэффициент вторичной электронной эмиссии при сравнительно меньших напряженностях электрического поля [14] позволяли предположить, что его можно успешно применять в ДД. Измерения эффективности регистрации с рабочим веществом из пористого криолита при облучении  $\alpha$ -частицами с энергией

5,5 МэВ показали, что в импульсном режиме питания детектор работает стабильно с 100% эффективностью регистрации. При этом оказалось, что кривая эффективности регистрации лежит в той же области по рабочему напряжению ДД, что и в случае *CsI* и *KCl*. Следовательно, пористый криолит обладает одновременно стабильностью работы *CsI*, *KCl* и *KBr* и негигроскопичностью *MgO*. Такие особенности создают определенные удобства как при сборке, хранении и транспортировке, так и при эксплуатации ДД.

На рис. 4 для сравнения приведены зависимости эффективности регистрации ДД  $\alpha$ -частиц с энергией 5,5 МэВ от рабочего напряжения для

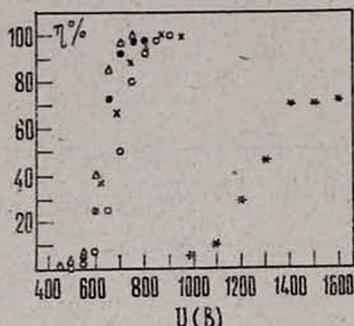


Рис. 4. Зависимость эффективности регистрации ДД  $\alpha$ -частиц с энергией 5,5 МэВ от рабочего напряжения в пористых слоях:  $\Delta$  — *CsI*,  $\circ$  — *KCl*,  $\ast$  — *MgO*,  $\times$  — криолит,  $\ominus$  — *KBr*.

*CsI*, *KCl*, *KBr*, *MgO* и криолита. Зависимости для пористых *CsI*, *KCl* и *MgO* заимствованы из работ [7—10]. Все кривые сняты для ДД с одинаковыми пространственными значениями электродов. Относительная плотность всех рабочих веществ находилась в пределах 0,8—1,5%.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А. Ц. Амадуни и Г. А. Вартапетяну за внимание к работе, а также Ж. Г. Саркисяну и Л. Г. Давтяну за помощь при создании экспериментальной установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лорикян М. П., Кавалов Р. Л., Трофимчук Н. Н. Письма в ЖЭТФ, 16, 320 (1972).
2. Лорикян М. П., Кавалов Р. Л., Трофимчук Н. Н. Изв. АН АрмССР, Физика, 8, 33 (1973).
3. Lorikian M. P., Kavalov R. L., Trofimtchuk N. N. NIM, 122, 377 (1974).
4. Лорикян М. П. и др. Научное сообщение ЕФИ—131, 1974.
5. Трофимчук Н. Н. и др. ЖЭТФ, 69, 639 (1975).
6. Лорикян М. П., Трофимчук Н. Н. Научное сообщение ЕФИ—178 (24), 1976.
7. Гукасян С. М. и др. Препринт ЕФИ—280 (5), 1978.
8. Гукасян С. М. и др. Препринт ЕФИ—370 (28), 1979.
9. Гукасян С. М. и др. Препринт ЕФИ—372 (30), 1979.
10. Гукасян С. М. и др. Изв. АН СССР, 44, 634 (1980).
11. Арванов А. Н. и др. ПТЭ, 4, 58 (1981).
12. Арванов А. Н. и др. Научное сообщение ЕФИ—495(39), 1981.
13. Charpak G. et al. CERN Preprint, 78—05, Experimental Physics Division, 1978.
14. Гавалян В. Г., Арванов А. Н., Лорикян М. П. Изв. АН АрмССР, Физика, 17, 102 (1982).
15. Арванов А. Н. и др. Труды IV конференции молодых ученых ЕрФИ, Ереван, 1980.

ԵՐԿՐՈՐԴԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ԷՄԻՍԻԱՅԻ ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՎՐԱ  
ՀԻՄՆՎԱՑ ԳԵՏԵԿՏՈՐՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Վ. Գ. ԳԱՎԱԼՅԱՆ, Ա. Ա. ԱՐՎԱՆՈՎ, Ս. Մ. ԳՈՒԿԱՍՅԱՆ, Մ. Պ. ԼՈՐԻԿՅԱՆ

Աշխատանքում բերված են երկրորդային էլեկտրոնային էմիսիայի երևույթի հիման վրա աշխատող դետեկտորների հետազոտության արդյունքները 5,5 ՄէՎ էներգիայով  $\alpha$ -մասնիկների և 6 կէՎ էներգիայով  $\gamma$ -քվանտորների անցման ժամանակ: Իրև աշխատանքային նյութ օգտագործված է ծակոտկեն կրիոլիտը: Բերված է էմիտերից առաքվող էլեկտրոնների թվի վիճակագրական բաշխումը: Հետազոտված են նաև KBr և կրիոլիտ աշխատանքային նյութով դիէլեկտրիկ դետեկտորները: Ցույց է տրված, որ այս դետեկտորները իրենց աշխատանքային բնութագրով համապատասխանում են նախկինում պատրաստված CsI և KCl նյութով դետեկտորներին: Նկարագրված են նոր տեխնոլոգիայով պատրաստված CsI և KBr աշխատանքային նյութով դիէլեկտրիկ դետեկտորները: Այդ տեխնոլոգիան թույլ է տալիս պարզեցնել դետեկտորների հավաքումն ու գործարկումը:

INVESTIGATION OF DETECTORS BASED ON THE  
PHENOMENON OF SECONDARY ELECTRON EMISSION

V. G. GAVALYAN, A. A. ARVANOV, S. M. GUKASYAN, M. P. LORIKYAN

Results of investigations of particle detectors based on the phenomenon of controllable electron emission from KBr and cryolite porous layers are presented. Statistical distributions of the number of emitted electrons at the irradiation of detectors with 5.5 MeV  $\alpha$ -particles and 6 keV  $\gamma$ -quanta are given. These detectors were shown to be similar by their performance to earlier studied detectors having CsI and KCl layers as working substances. A new technology allowing to simplify the assembly and operation of dielectric detectors with CsI and KBr layers is described.