

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.128.4.04

ГЕТЕРОСТРУКТУРА а-С/*n*-Si В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРА
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

© 2016 г. К. Э. Авджян, Л. А. Матевосян, К. С. Оганян*, Л. Г. Петросян*

Институт радиофизики и электроники АН Армении
Армения, 0203, Аштарак-2, ул. Бр. Алиханянов, 1

*Ереванский государственный университет
Армения, 0025, Ереван ул. Алека Манукяна, 1

E-mail: kohanyan@ysu.am

Поступила в редакцию 05.02.2015 г.

После доработки 27.04.2015 г.

Представлены результаты исследований по применению гетероструктуры – аморфные углеродные пленки на кремнии *n*-типа (а-С/*n*-Si), изготовленной методом вакуумного лазерно-импульсного осаждения, в качестве детектора ионизирующих излучений.

DOI: 10.7868/S0032816216010195

Аморфные углеродные пленки (а-С) благодаря уникальным физико-химическим свойствам (химическая стойкость, высокая твердость и теплопроводность, прозрачность в видимом и инфракрасном диапазоне) имеют важное значение для решения многих прикладных задач. На основе кремния и пленок а-С созданы элементы полупроводниковой электроники: туннельные диоды, структуры металл–диэлектрик–полупроводник, диоды Шоттки и т.д. [1–3]. В настоящей работе приведены результаты спектрометрических исследований по использованию а-С/*n*-Si-гетероструктуры, изготовленной методом лазерно-импульсного осаждения, в качестве детектора ионизирующих α -излучений [4].

Образец на основе гетероструктуры а-С/*n*-Si изготавливался методом вакуумного ($2 \cdot 10^{-5}$ Торр) лазерного осаждения а-С-пленки (толщина ~ 100 нм) из чистого углерода на кремниевую подложку *n*-типа (толщина 350 мкм, удельное сопротивление $20 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). Как барьерный слой (а-С), так и низкоомные металлические контакты изготовлены в режиме модулированной добротности лазера (длина волны излучения 1.06 мкм, длительность испаряющего лазерного импульса 30 нс, интенсивность в зоне облучения мишени $\sim 10^9 \text{ Вт/см}^2$) при комнатной температуре подложки. Металлизация низкоомных контактов выполнена вакуумным термическим осаждением In при давлении $\sim 10^{-5}$ Торр. Низкоомные контакты из Ag на пленке а-С и из Sb на подложке *n*-Si сформированы без дополнительной обработки их поверхностей (лазерной очистки, химического травления или

отжига). Полученные таким способом контакты были однородны и имели хорошую адгезию. Топология исследуемого образца-детектора с фронтальным контурным контактом ($0.2 \times 0.2 \text{ см}^2$) показана на рис. 1.

Электрические свойства образца-детектора на основе гетероструктуры а-С/*n*-Si изучены по темновой вольт-амперной характеристике (в.а.х.), снятой при комнатной температуре (рис. 2). Вольт-амперная характеристика перехода при прямых смещениях (“–” на *n*-Si) в диапазоне напряжений $0.2 < U < 0.45 \text{ В}$ удовлетворительно согласуется с выражением для плотности тока $J =$



Рис. 1. Топология детектора на основе гетероструктуры а-С/*n*-Si.

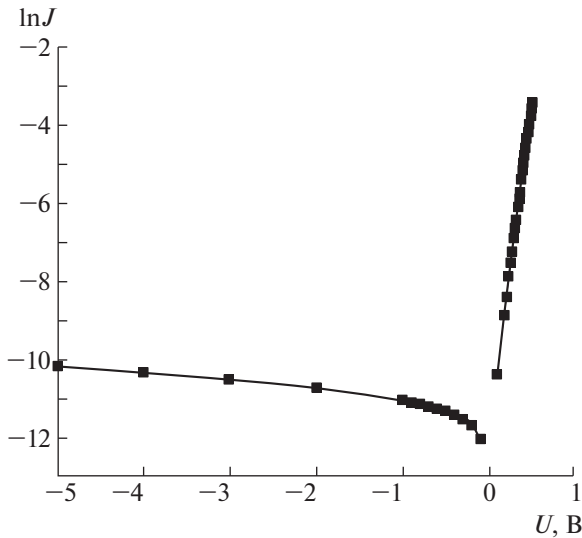


Рис. 2. Темновая в.а.х. гетероструктуры a-C/n-Si (J , A/cm² – плотность тока).

$= J_0 \exp(eU/nkT)$ с коэффициентом неидеальности $n = 2.4$. Из выражения для тока насыщения

$$I_0 = AT^2 S \exp(-e\Phi/kT),$$

где $A = 110$ для n -Si и $S = 7.5 \cdot 10^{-3}$ см², вычислена высота барьера $\Phi = 0.7$ эВ. Коэффициент выпрямления (отношение прямого тока к обратному) гетероструктуры a-C/n-Si при напряжении 0.5 В составил $2.2 \cdot 10^3$.

С учетом геометрических размеров проведена оценка величины удельного сопротивления a-C-плёнки, получено, что $\rho_{a-C} = 1.43 \cdot 10^6$ Ом · см.

Для исследования детектирующих характеристик гетероструктуры a-C/n-Si собран α -спектрометр, состоящий из блоков детектирования, преобразователя, усилителя и амплитудного анализатора.

Калибровка измерительной аппаратуры проводилась с использованием кремниевого детектора, откалиброванного с помощью источника вторичной дозиметрической лаборатории, и одной из четырех линий α -частиц радиоактивного изотопа ²²⁶Ra с энергиями: 4784.5, 5489.7, 6002.6 и 7687.1 кэВ. Между детектором и источником помещали коллиматор площадью 15×15 мм², толщиной 1 мм, с диаметром цилиндрического канала 1 мм. Минимальное расстояние от источника до поверхности детектора составляло 1.5 мм.

Проведены опыты по регистрации α -частиц с использованием радиоактивных α -источников из набора ОСАИ: ²³⁸Pu, ²³⁸Pu + ²³⁹Pu + ²³³U и ²²⁶Ra.

Максимальная плотность потоков α -частиц, падающих на поверхность образца, составила 10^8 частиц/(м² · с), что находится в пределах ча-

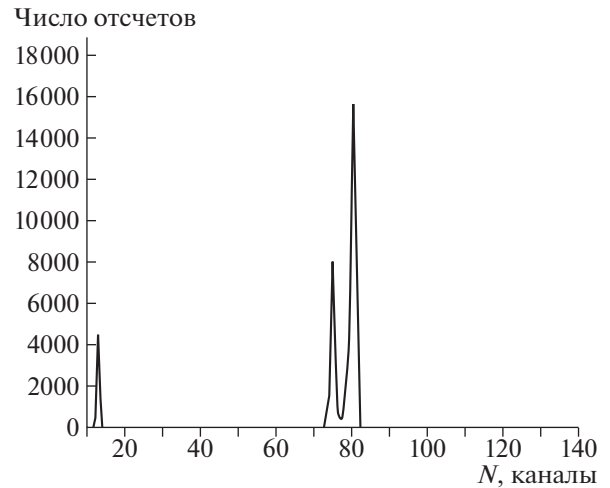


Рис. 3. Спектр α -частиц ²³⁸Pu.

стных характеристик регистрирующей аппаратуры.

Импульсы от α -частиц имели фронт длительностью 0.2 мкс. В измерениях регистрировались также и шумовые импульсы. Исследована зависимость амплитудных распределений от приложенного к гетероструктуре напряжения в диапазоне 0–100 В. Наилучшие амплитудные характеристики наблюдались при напряжениях 30–50 В. Спектр α -частиц от радиоактивного источника ²³⁸Pu, измеренный образцом детектора на основе гетероструктуры a-C/n-Si, при напряжении смещения $U = 30$ В показан на рис. 3.

Энергетическое разрешение, полученное на α -линии с энергией $E_\alpha = 5499$ кэВ, составило FWHM = 22 кэВ.

Из полученных в опытах с радиоактивными изотопами результатов было определено энергетическое разрешение и исследована линейность спектрометра при регистрации α -частиц различной энергии. На рис. 4 представлена зависимость от энергии α -частиц амплитуды импульсов, регистрируемых детектором. В эти данные были введены поправки, учитывающие потери энергии α -частиц в слое воздуха и на входном окне детектора.

Как видно из графика, изготовленная структура (в пределах ошибок) обладает линейностью в широком энергетическом диапазоне. Все точки находятся на прямой $E_\alpha = 195 + 66.3N_k$ (N_k – номер канала), а коэффициент корреляции составляет 0.9977.

Учитывая объемные свойства гетероструктуры a-C/n-Si, подчеркнем, что для полного переноса заряда и получения хорошего разрешения детектора достаточно выполнения условия приблизи-

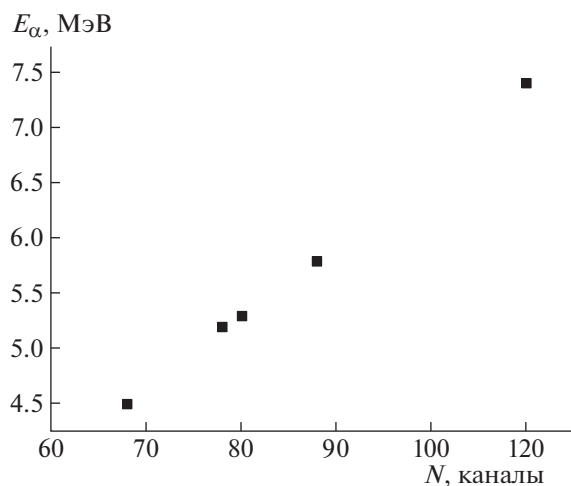


Рис. 4. Зависимость амплитуды импульса (номера канала) от энергии α -частиц, регистрируемых образцом детектора.

тельного равенства величины пробега α -частицы ширине области электрического поля детектора.

Проведены также измерения по регистрации потоков γ -квантов с использованием радиоактивного изотопа ^{60}Co (энергии γ -квантов, испус-

каемые этим изотопом, равны 1.17 и 1.33 МэВ). Амплитуды импульсов детектирования γ -квантов находятся в области шумовых импульсов.

Таким образом, показано, что гетероструктура $a\text{-C}/n\text{-Si}$ обладает спектрометрическими характеристиками при регистрации α -частиц. Достоинством технологии изготовления гетероструктуры является возможность исключения трудно контролируемых процессов имплантации, диффузии и отжига, а также простота технического исполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bhattacharyya S., Silva S.* // Appl. Phys. Lett. 2007. V. 90. P. 082105; doi 10.1142/S2010194512007088
2. *Saddow S.E., Anant A.* Advances in Silicon Carbide Processing and Applications. Boston, London: Artech House Inc., 2004.
3. *Veerasmay V.S., Amartunga G.A.J., Park J.S., Mackenzje H.S., Milne W.I.* // IEEE Trans. on Electron Devices. 1995. V. 42. P. 577.
4. *Avjyan K.E., Aramyan N.S., Khachatryan A.M., Matevosyan L.A., Margaryan R.Kh., Ohanyan K.S.* // 9th International Conference on Semiconductor Micro & Nanoelectronics. (Armenia, May 24–26 2013) Yerevan: YSU, 2013. P. 95.