

УДК 539.216.2:621.386

## ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИТОПОДОБНЫХ АМОРФНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК В ДАТЧИКАХ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.А. ВРУБЛЕВСКИЙ<sup>1</sup>, Д.А. КАВАЛЕНКА<sup>1</sup>, Е.Н. МУРАТОВА<sup>2</sup>, В.А. МОШНИКОВ<sup>2</sup>,  
В.Б. БЕССОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Беларусь)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
(г. Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: Sokolovaeknik@yandex.ru

**Аннотация.** На основе анализа электрофизических свойств тонких плёнок графитоподобного аморфного углерода (ГПАУ) предложена концепция их использования в резистивных датчиках рентгеновского излучения. Обсуждается связь между прыжковым механизмом проводимости, заполнением локализованных состояний и чувствительностью к ионизирующему излучению.

**Abstract.** Based on the analysis of the electrophysical properties of thin graphite-like amorphous carbon (GAC) films, a concept for their use in resistive X-ray radiation sensors is proposed. The relationship between the hopping conduction mechanism, the filling of localized states, and sensitivity to ionizing radiation is discussed.

### Введение

Рентгеновские датчики требуют материалов с регулируемым сопротивлением, радиационной стойкостью и способностью регистрировать слабые токи. ГПАУ-плёнки обладают р-типом проводимости, содержат нанокластеры sp<sup>2</sup>-углерода в диэлектрической sp<sup>3</sup>-матрице и демонстрируют прыжковый транспорт с переменной длиной прыжка [1-3]. Эти свойства критически важны для радиационно-стимулированных эффектов, что делает ГПАУ-плёнки перспективной альтернативой традиционным полупроводникам [4, 5].

### Основная часть

В данной работе методом электронно-лучевого испарения получены тонкие (около 50 нм) плёнки ГПАУ на стеклянных подложках с никелевым слоем и кремниевых подложках с термическим SiO<sub>2</sub>. После осаждения проводился отжиг в вакууме при 973 К в течение 9 мин для стабилизации структуры.

Показано, что вольтамперная характеристика (ВАХ) плёнок ГПАУ симметрична, гистерезис отсутствует, а в логарифмических координатах наблюдаются два линейных участка [1]. Результаты представлены на рис. 1.

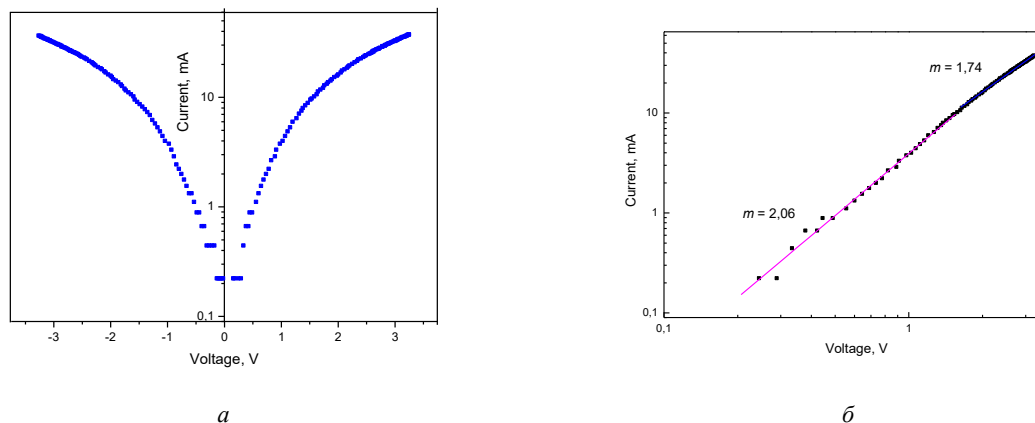


Рис. 1. ВАХ аморфной углеродной пленки, подобной графиту: а – в полулогарифмических координатах; б – в логарифмических координатах

Первый (наклон  $m=2,06$ ) соответствует моноснергетическим ловушкам и токам, ограниченным пространственным зарядом. Второй (наклон  $m=1,74$ ) указывает на дополнительный прыжковый перенос по хвосту валентной зоны при повышенном поле. Температурные зависимости сопротивления в координатах  $\lg R=f(T^{-1/4})$  подтверждают механизм Мотта.

Сочетание прыжкового транспорта, чувствительности к заполнению ловушек и поляризационных эффектов делает плёнки ГПАУ структурно-чувствительными материалами, параметры которых (размер кластеров, количество дефектов, соотношение  $sp^2/sp^3$ ) могут быть целенаправленно изменены режимами осаждения и отжига. Это открывает возможность настройки детекторных характеристик под конкретные задачи рентгеновской диагностики (например, микрофокусная томография [4,5]).

При облучении рентгеном в материале генерируются неравновесные электронно-дырочные пары, которые заполняют локализованные состояния. Это изменяет эффективную проводимость аналогично эффекту при увеличении инжекционного тока. Отсутствие гистерезиса гарантирует стабильность отклика. Низкочастотный рост ёмкости обусловлен поляризацией Максвелла–Вагнера на границах «проводящий нанокластер – диэлектрическая прослойка», что усиливает чувствительность при интегрирующем режиме регистрации.

В отличие от традиционных полупроводников (Si, CdTe), плёнки ГПАУ не требуют сложной очистки и легирования, а их резистивный режим регистрации позволяет создавать компактные детекторы с прямым считыванием тока без усилителей заряда.

### **Заключение**

Таким образом, в работе показано, что графитоподобные аморфные углеродные плёнки благодаря hopping-механизму проводимости, наличию локализованных состояний и чувствительности к внешним воздействиям могут быть использованы как основа твердотельных датчиков рентгеновского излучения. Радиационная стойкость и технологическая совместимость с кремниевой электроникой открывают путь к созданию недорогих и компактных детекторов нового поколения.

Измерения проводились на оборудовании «Лаборатории силовой электроники» ПИШ СПбГЭТУ «ЛЭТИ». *Электрофизические свойства изучались путем измерения и анализа ВАХ (на характеристикографе Прогресс-3000) и C-V (на анализаторе вольт-фарадных характеристик TH512), с использованием зондовой станции SEMISHARE M6.*

### **Список использованных источников**

1. Moshnikov V.A., Muratova E.N., Vrublevsky I.A., et.al. // *Materials* 2025, 18, P. 3977. <https://doi.org/10.3390/ma18173977>
2. Muratova E. N., Vrublevsky I. A., Moshnikov V. A., et.al. // *Materials*, 2026, 19(10), P. 1965. <https://doi.org/10.3390/ma19101965>.
3. Мошников В.А., Александрова О. А. Новые углеродные материалы: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2008. 92 с.
4. Потрахов Н.Н. Контроль промышленных изделий методом микрофокусной рентгенографии / Н.Н. Потрахов, К.К. Гук, В.Б. Бессонов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2023; 89(3), С. 31-37. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-3-31-37>.
5. Бессонов В. Б. Особенности разработки программно-аппаратных комплексов для микрофокусной рентгеновской компьютерной томографии / В.Б. Бессонов, И.А. Ларионов, А.В. Ободовский // *Физические основы приборостроения*. 2019. Т. 8. № 4(34). С.23 - 33.