

06

## **Исследование оптико-электрических свойств карбидосодержащих тонких пленок на основе кремния**

© А.П. Беляев, С.А. Кукушкин, А.В. Осипов,  
В.П. Рубец, С.К. Гордеев, С.Б. Корчагина

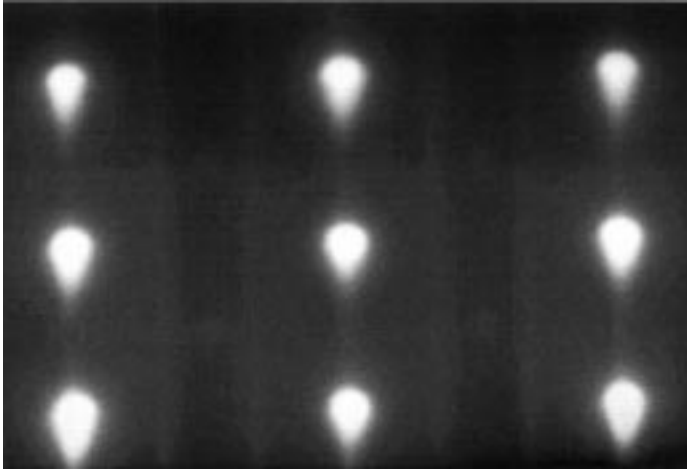
Институт проблем машиноведения РАН, С.-Петербург  
ФГУП „Центральный научно-исследовательский институт материалов“,  
С.-Петербург  
E-mail: ksa@phase.ipme.ru

*Поступило в Редакцию 16 декабря 2005 г.*

Представлены экспериментальные результаты исследований оптико-электрических свойств карбидосодержащих тонких пленок, выращенных новым перспективным методом на пластинах из кремния. Приводятся электронограммы, вольт-амперные характеристики (световые и темновые), зависимости вентильной эдс от уровня возбуждения и спектральные зависимости фоточувствительности. Демонстрируется перспективность подобных систем для оптоэлектроники.

PACS: 78.20.Jq

Карбид кремния — полупроводниковый материал, обладающий целым комплексом уникальных свойств, таких как химическая, термическая, противорадиационная стойкость, высокая стабильность электрических и оптических характеристик. В [1] сообщалось о принципиально новом методе получения тонких эпитаксиальных пленок и наноструктур карбида кремния различных политипов на поверхности кремния. Этот метод по трудозатратам мало отличается от хорошо освоенных



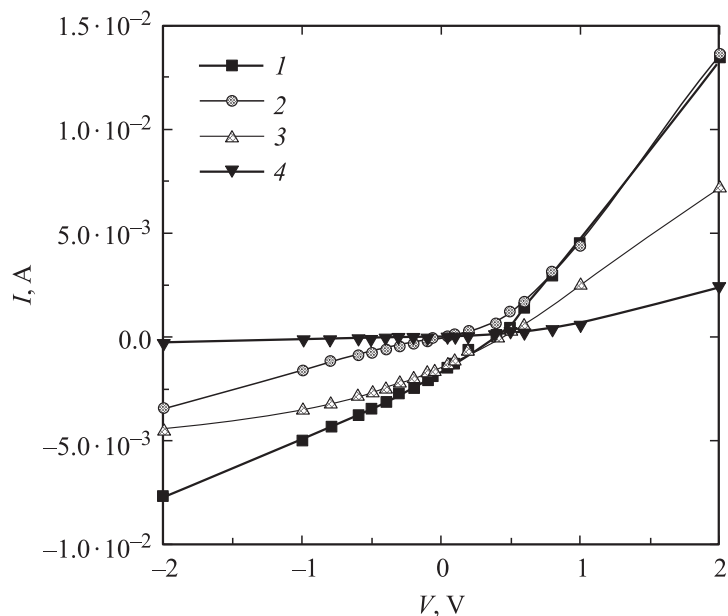
**Рис. 1.** Типичная электронограмма пленки гетероструктуры.

способов получения полупроводниковых соединений  $A^3B^5$  и в этом смысле превосходит все известные методы получения пленок карбида кремния. В связи с этим ниже приводятся первые результаты исследований оптико-электрических свойств гетероструктур (ГС), полученных вышеуказанным способом.

Исследования проводились на ГС, сформированных на пластине кремния КДБ-10, ориентации (111) и толщиной  $100 \mu\text{m}$ . Совершенство кристаллической структуры пленки, выращенной на пластине способом [1], демонстрирует электронограмма на рис. 1.

Площадь поверхности исследуемых образцов составляла  $\sim 1 \text{ cm}^2$ . Сетчатые контакты для электрооптических изменений изготавливались из индия методом вакуумного испарения и конденсации. Перед нанесением фронтального контакта поверхность пластины кремния подвергалась механической обработке.

Спектральные характеристики снимались с помощью светофильтров, полуширина пропускания которых составляла величину  $30 \text{ nm}$ . В качестве источника излучения использовалась лампа накаливания мощностью  $100 \text{ W}$  с температурой вольфрамовой нити  $2600 \text{ K}$ . Несфокусированный свет от лампы, расположенной от ГС на расстоя-

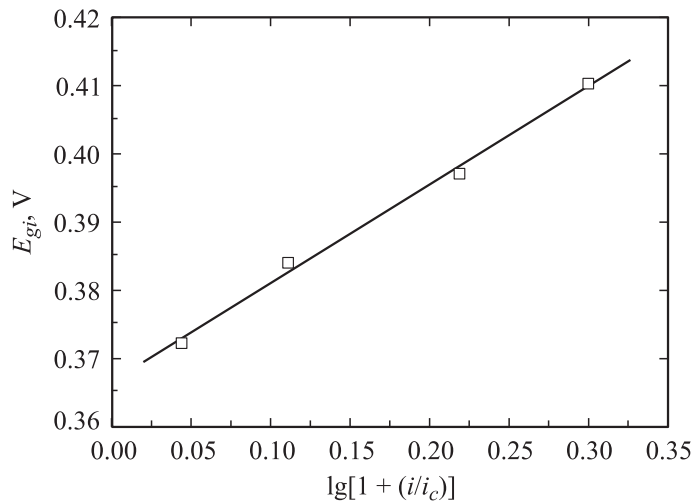


**Рис. 2.** Типичные ВАХ гетероструктур на основе кремния образцов В1 (кривые 1,2) и В2 (кривые 3,4), снятые в темноте (кривые 2,4) и на свету (кривые 1,3).

нии  $\sim 30$  см, в случае необходимости ослаблялся светофильтрами НС1–НС3.

Исследовались вольт-амперные характеристики (ВАХ) ГС (под действием света и в темноте), спектральные характеристики вентильного фотоэффекта и влияние освещенности на вентильную эдс. Основные результаты исследований представлены на рис. 2–4. На этих рисунках за положительное направление тока принято направление, при котором положительный потенциал прикладывался к пластине кремния.

ВАХ исследовались в диапазоне напряжений от  $-30$  до  $+30$  В. Рис. 2 демонстрирует типичные ВАХ в диапазоне от  $-2$  до  $+2$  В. За границами этого диапазона ВАХ имели линейный характер, поэтому они на рисунке не представлены. Кривые 2, 4 отражают темновые ВАХ, а кривые 1, 3 — ВАХ тех же образцов, освещенных несфокусированным светом. Образцы отличались друг от друга температурой синтеза.



**Рис. 3.** Зависимость вентиляльной эдс от уровня возбуждения.

Как можно видеть из рисунка, прямые и обратные ветви ВАХ в большей части исследованного диапазона напряжений линейны. Освещение не вносило существенного изменения в характер ВАХ. Под действием света ВАХ смещались вниз на величину тока короткого замыкания  $I_{sc}$ . В отдельных образцах эта величина достигала значений в 6–7 мА. Характерное значение вентиляльной эдс холостого хода  $E_{gi}$  имело величину  $\sim 0.4$  В.

Влияние уровня возбуждения на эдс  $E_{gi}$  отражает рис. 3. Из рисунка можно видеть, что  $E_{gi}$  при разных значениях светового потока удовлетворительно описывается известным логарифмическим законом [2]:

$$E_{gi} = \frac{k_B T}{e} \ln \left( 1 + \frac{i}{i_0} \right), \quad (1)$$

где  $i_0$  — интенсивность света на поверхности образца, создаваемая лампой накаливания;  $i$  — интенсивность света, ослабленная нейтральным светофильтром;  $e$  — заряд электрона;  $k_B$  — константа Больцмана;  $T$  — температура. Рис. 4 демонстрирует спектральную зависимость эдс. Она содержит две области фоточувствительности: коротковолновую ( $\lambda < 400$  нм) и длинноволновую ( $\lambda > 580$  нм). Наиболее чув-

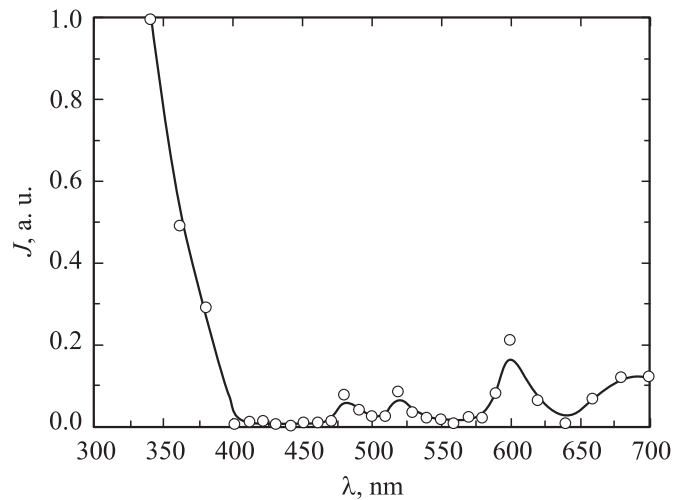


Рис. 4. Спектральная зависимость фоточувствительности.

ствительна ГС в коротковолновой области. В спектральном диапазоне ( $400 \text{ nm} < \lambda < 580 \text{ nm}$ ) чувствительность ГС в десятки раз ниже.

Полученные результаты однозначно свидетельствуют, что исследованные образцы содержат  $p-n$ -переходы, эффективно разделяющие фотогенерированные носители. Линейный характер прямой ветви ВАХ отражает наличие в образце высокоомной базы, которая ограничивает ток прямо смещенного  $p-n$ -перехода. Линейный характер обратной ветви ВАХ, очевидно, связан с токами объемной утечки через закорачивающие частички металла контактов, а также других дефектов структуры [3,4] или с туннелированием тока [5,6].

Выполнение закона (1) указывает на резкий характер  $p-n$ -перехода, что нехарактерно для  $p-n$ -переходов, обычно изготавливаемых на основе карбида кремния [4].

Спектральная зависимость фоточувствительности свидетельствует о сложном характере структуры образцов. Известно, что карбид кремния может кристаллизоваться в более чем 300 видах политипов. Многие из них имеют разную ширину запрещенной зоны. Возможно, что пленка, выращенная на пластине кремния, является сэндвич-структурой нескольких различных политипов карбида кремния.

В исследованных образцах не предпринимались специальные методы для повышения коэффициентов собирания фотогенерированных носителей. Тем не менее достигнутые в них параметры указывают на перспективность подобных структур для практического применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке УК „Созвездие“, С.-Петербург, Фонда поддержки науки и образования, С.-Петербург, и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-03-32467).

## Список литературы

- [1] *Кукушкин С.А., Осипов А.В., Гордеев С.К., Корчагина С.Б.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 20. С. 6–13.
- [2] *Бонч-Бруевич В.Л., Калашиников С.Г.* Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. 672 с.
- [3] *Виолина Г.Н., Крутилова Т.С.* // ФТП. 1971. Т. 5. № 6. 1130–1135.
- [4] *Карбид кремния как материал современной оптоэлектроники и полупроводниковой техники.* М.: Экос, 1984. 133 с.
- [5] *Милнс А., Фойхт Д.* Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник. М.: Мир, 1975. 432 с.
- [6] *Беляев А.П., Рубец В.П., Тошходжаев Х.А., Калинин И.П.* // ФТП. 1993. Т. 27. № 3. С. 532–534.