

06;12

Особенности технологии и свойств фотодетекторов на основе структур „металл—пористый карбид кремния“

© А.В. Афанасьев, В.А. Ильин, Н.М. Коровкина, А.Ю. Савенко

С.-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“

E-mail: root@post.etu.spb.ru

Поступило в Редакцию 11 марта 2005 г.

Рассмотрены технологические аспекты формирования фотоприемных структур ультрафиолетового диапазона на основе диодов Шоттки Au—пористый карбид кремния (ПКК). Методами атомно-силовой микроскопии и сфокусированного ионного зонда в режимах микропрофилирования и формирования контраста показано, что использованные технологические операции позволяют получать слои ПКК толщиной $230 \div 250$ nm с развитой поверхностью и средним размером шероховатости $60 \div 80$ nm. Сопоставительный анализ фотоэлектрических свойств структур Au—SiC (6H) и Au—ПКК показал, что последние обладают более высокой фоточувствительностью и несколько отличающейся от обычной спектральной характеристикой.

Пористый карбид кремния (ПКК) является перспективным материалом для эпитаксиальной технологии, изготовления светоизлучающих диодов и фотоприемников [1]. Однако информации о фотодетекторах на основе пористого карбида кремния практически нет. Поэтому целью работы являлось исследование фотодиодов Au—ПКК и сравнение их свойств со свойствами фотоприемников на основе Au—SiC.

Слои пористого карбида кремния обычно получают путем анодирования SiC пластин в кислотных или щелочных электролитах. Наиболее часто применяют водные или спиртовые растворы плавиковой кислоты в сочетании с ультрафиолетовой подсветкой [2] либо без нее [3].

Исследования проводились на структурах $n-n^+$ SiC (6H). Концентрация нескомпенсированных доноров в эпитаксиальных слоях

составляла $N_d - N_a \approx 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а толщина — $2 \div 4 \mu\text{м}$. Часть пластины была анодирована в электролите 2% HF при плотности тока 10 mA/cm^2 в течение 1 min без ультрафиолетовой подсветки. При этом анодированная область пластины приобрела светло-серый оттенок, что явилось косвенным подтверждением образования слоя пористого карбида кремния. По предварительным оценкам такой режим анодирования позволяет формировать слои ПКК толщиной не более 500 nm , т.е. в приповерхностной области эпитаксиального слоя.

После ультразвуковой очистки и отмывки в деионизованной воде образцы окислялись в атмосфере сухого кислорода при температуре 900°C в течение 30 min, что приводило к образованию собственного оксида кремния толщиной порядка 5 nm с четкой границей раздела. Далее методом плазмохимического осаждения наносился слой SiO_2 толщиной $0.3 \mu\text{м}$ для создания необходимой топологии методом фотолитографии. Формирование омического контакта на основе никеля осуществлялось по методике, описанной в [4]. Барьерообразующие полупрозрачные золотые электроды толщиной $\sim 150 \text{ \AA}$ наносились методом термического испарения в окна оксида размером $500 \times 500 \mu\text{м}$. Таким образом были получены фотоприемные структуры в виде диодов Шоттки золото–карбид кремния и золото–пористый карбид кремния. Существенных отличий в вольт-амперных и вольт-фарадных характеристиках образцов не наблюдалось. Высота барьера Шоттки, определенная из вольт-фарадных измерений составляла $1.63 \div 1.65 \text{ eV}$. Обратные темновые токи для обоих типов структур при напряжении 1 V не превышали 10^{-12} A , а коэффициенты идеальности вольт-амперной характеристики варьировались в интервале $1.09 \div 1.12$.

Методом прецизионного распыления сфокусированным пучком ионов галлия на установке Strata FIB 205 были получены разрезы структур приповерхностных областей фотоприемных площадок Au–SiC и Au–ПКК. Изображения поверхности боковых стенок кратеров и части поверхности образцов, полученные на этой же установке в режиме регистрации электронов, образующихся в результате ион-электронной эмиссии, приведены на рис. 1, *a* и *b*. Из рис 1, *b* видно, что в результате анодирования сформировался слой ПКК протяженностью $d \approx 230 \dots 250 \text{ nm}$. Толщину обедненной области диода Шоттки можно

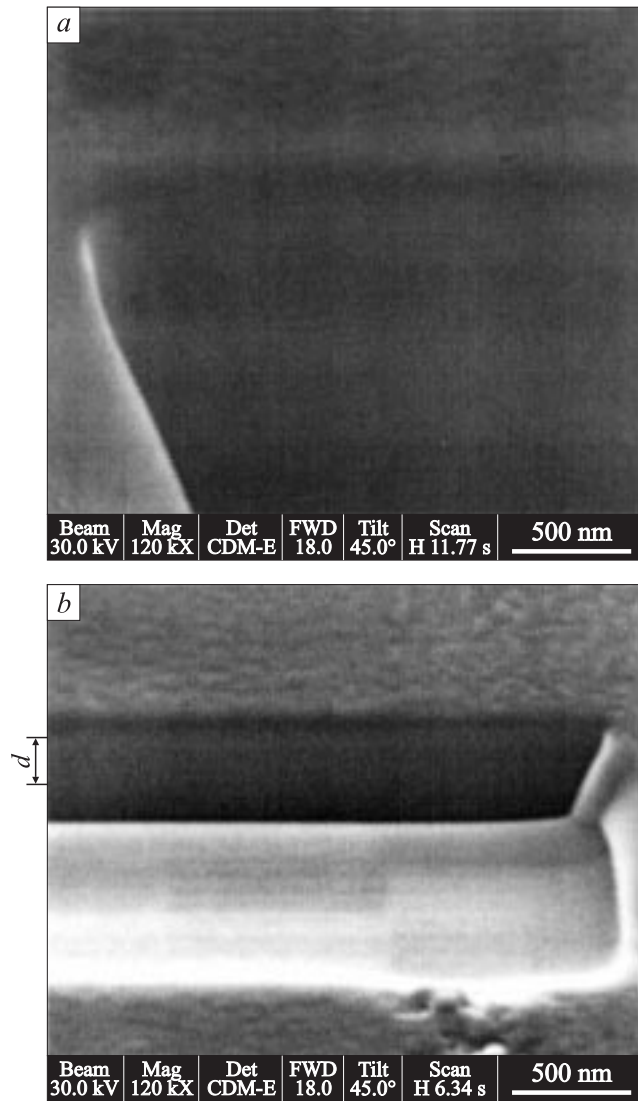


Рис. 1. Разрезы структур приповерхностных областей фотоприемных площадок Au–SiC (*a*) и Au–ПКК (*b*).

оценить с использованием следующего соотношения [5]:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \varepsilon_0}{q \cdot (N_d - N_a)} \cdot \left(U_d - \frac{kT}{q} - U \right)}, \quad (1)$$

где $\varepsilon = 9.8$, $U_d = 1.48 \text{ V}$ — диффузионный потенциал, определенный из вольт-фарадных характеристик.

При подстановке соответствующих значений в (1) при нулевом смещении величина W составила 566 nm , что значительно превышает толщину пористого слоя. Вероятно, поэтому существенных отличий в электрофизических параметрах (высота барьера Шоттки, коэффициент идеальности ВАХ, обратный темновой ток) между диодами Шоттки на основе структур золото–карбид кремния и золото–пористый карбид кремния не наблюдалось.

Фотоэлектрические свойства образцов исследовались в спектральном диапазоне $200 \div 1200 \text{ nm}$. Фотоприемники на основе ПКК обладали чувствительностью в диапазоне $200 \div 430 \text{ nm}$. Следует отметить, что для этих образцов край поглощения смещен в длинноволновую область по сравнению с фотодетекторами Au–SiC, где край fotocувствительности находился при 420 nm . Подобные результаты были получены в [1] на свободных пленках ПКК толщиной около $150 \mu\text{m}$. По-видимому, существует влияние пористого слоя на спектральную характеристику даже при такой небольшой его протяженности.

Токовая чувствительность (S_I) на длине волны 254 nm , определенная в режиме короткого замыкания, для образцов с ПКК составляла $45 \div 55 \text{ mA/W}$ и превышала более чем в 1.5 раза значения чувствительности для структур на основе Au–SiC, где $S_I = 27 \div 32 \text{ mA/W}$. Отмеченные различия, вероятно, связаны с формированием в процессе анодирования микрорельефной поверхности, что позволяет повысить S_I фотоприемника [6]. Подтверждением этому предположению могут служить результаты исследования морфологии поверхности фотоприемных площадок, полученные методом атомно-силовой микроскопии (рис. 2). Как видно из рисунка, при анодировании образуется развитая поверхность с характерным рельефом $60 \div 80 \text{ nm}$ (рис. 2, *b*), в то время как рельеф поверхности фотоприемной площадки структуры для Au–SiC $6 \dots 8 \text{ nm}$ (рис. 2, *a*). Вследствие этого происходит увеличение эффективной площади фотоприемной области, а также снижаются потери на отражение, что приводит к повышению эффективности фотопреобразования.

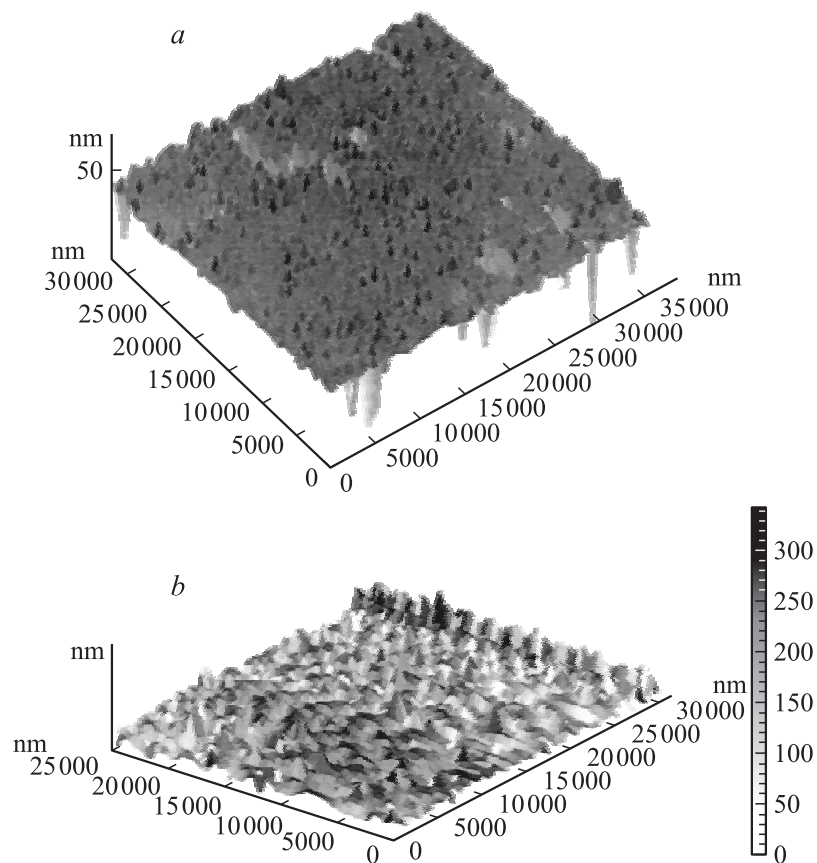


Рис. 2. Морфология поверхности фотоприемных площадок Au–SiC (a) и Au–ПКК (b).

В результате предложен вариант повышения эффективности SiC-фотоприемников ультрафиолетового излучения путем кратковременного анодирования подложки. Данный метод получения развитой поверхности карбида кремния, по-видимому, является единственным, так как химическое травление карбида кремния в отличие от кремния и соединений $A^{III}B^V$ практически невозможно.

Список литературы

- [1] *Kim S., Spanier J.E., Herman I.P.* // Jpn. J. Appl. Phys. 2000. V. 39. P. 5875–5878.
- [2] *Сорокин Л.М., Савкина Н.С., Лебедев А.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 22. С. 23–31.
- [3] *Okojic R.S., Ned A.A., Kurtz A.D.* // Sensor and Actuators. 1998. A 66. P. 200–204.
- [4] *Афанасьев А.В., Ильин В.А., Петров А.А.* и др. // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 5. С. 78–81.
- [5] *Зи С.* // Физика полупроводниковых приборов: 1 т. М.: Мир, 1984. 456 с.
- [6] *Дмитрук Н.А., Борковская О.Ю., Конакова Р.В.* и др. // ЖТФ. 2002. Т. 72. В. 6. С. 44–49.