ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА n-3C-SiC/n-Si

Н.В. Полонский, М.В. Лобанок, П.И. Гайдук
Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, palonskiMV@bsu.by

Представлены результаты измерения фотоэлектрических характеристик гетеропереходов n-3C-SiC/n-Si в спектральном диапазоне 379-940 нм. Гетероструктуры с изотипным гетеропереходом n-3C-SiC/n-Si выращивали методом молекулярно-лучевой эпитаксии при 950 °C. Установлено, что вольт-амперная характеристика указанной структуры является выпрямляющей с фактором неидеальности 1.5 и током насыщения порядка 1.3 мкА/см^2. Показано, что облучение светом на длине волны 379 нм приводит к увеличению тока утечки до 0.26·мА/см^2, а облучение на длине волны 940 нм до 14 мА/см^2, что указывает на возможность использования гетероструктур типа n-3C-SiC/n-Si для создания многоспектральных фотодекторов. Результаты исследований спектральной зависимости фотопроводимости интерпретированы с учетом возможной диаграммы энергетических зон гетеруструктуры 3C-SiC/Si.

Ключевые слова: карбид кремния; 3C-SiC; гетеропереход 3C-SiC/Si; фотоэлектрические характеристики.

PHOTOELECTRIC CHARACTERISTICS OF THE n-3C-SiC/n-Si HETEROJUNCTION

M.V. Palonski, M.V. Lobanok, P.I. Gaiduk
Belarusian State University,
4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, palonskiMV@bsu.by

The results of measuring the photoelectric characteristics of SiC/Si heterojunctions in the spectral range 379-940 nm are presented. Heterostructures with the n-3C-SiC/n-Si isotype heterojunction were grown by molecular beam epitaxy at 950°C. It has been established that carrent-voltage characteristics of this structure has rectifier behavior with a nonideality factor of 1.5 and saturation current of about 1.3 μA/cm^2. It is shown that irradiation with light at a wavelength of 379 nm leads to an increase in the leakage current up to 0.26 mA/cm^2, and irradiation at a wavelength of 940 nm up to 14 mA/ cm^2, which indicates the possibility of using heterostructures of the n-3C-SiC/n-Si to create multispectral photodetectors. The results of studying the spectral dependence of photoconductivity are interpreted taking into account the possible diagram of the energy bands of the 3C-SiC/Si heterostructure.

Keywords: silicon carbide; 3C-SiC; heterojunction n-3C-SiC/Si; photovoltaic characteristics.

Введение

Доступные фотодетекторы, способные работать в экстремальных условиях и получать данные в нескольких спектральных диапазонах, необходимы для обеспечения надёжной оптоволоконной связи и развития мультиспектральных датчиков для различных применений [1, 2].

В последнее время возрос интерес к фотодетекторам на гетеропереходах, которые обладают хорошей чувствительностью в широком спектральном диапазоне за счёт сочетания материалов с разной шириной запрещённой зоны [3, 4]. Сообщается, что структуры ZnO/Si, и SiC/a-Si [3, 4] продемонстрировали отклик в широком диапазоне с достаточно хорошим соотношением сигнал/шум. Как правило, верхний слой, состоящий из широкозонного материала, поглощает фотоны с высокой энергией и работает как окно для фотонов с более низкой энергией. В свою очередь, прошедшие фотоны с меньшей энергией поглощаются в нижнем слое с малой шириной запрещённой зоны.

Кубический политип карбида кремния (3C-SiC), благодаря широкой запрещённой зоне (E_g) 3C-SiC (2.38 эВ) имеет высокий фототок в ближнем ультрафиолетесинем диапазоне спектра, но практически

нечувствителен к видимому диапазону, в то время как E_g в кремнии (Si) (1.1 эВ) демонстрирует максимум фотоотклика в видимой и инфракрасной областях. Таким образом, гетеропереход 3C-SiC/Si может обладать фоточувствительностью в нескольких спектральных диапазонах.

Материалы и методы исследования

Барьерные структуры 3C-SiC/Si выращивали методом молекулярно-лучевой эпитаксии на кремниевых подложках n-типа проводимости ориентацией вдоль поверхности (100) на установке VG Semicon V80. Толщина слоёв SiC составляла 80 нм. Измерения слоевого сопротивления и коэффициента Холла в пленках SiC показали, что они были n-типа проводимости с концентрацией носителей заряда порядка 3×10^{17} см$^{-3}$.

Для исследования электрофизических характеристик гетероперехода 3C-SiC/Si на лицевой (на поверхности 3C-SiC) и обратной стороне образцов структур наносились слои Al толщиной 50 нм. Затем формировались мезоструктуры методом фотолитографии и селективного травления в растворах HNO_3:H_2O:H_3PO_4 в пропорции 20:5:1 и HF:HNO_3 в пропорции 1:5. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) получали с помощью измерителя параметров полупроводниковых приборов ИППП-1, в качестве источника освещения использовались светодиоды с длиной волны λ~ 379, 534, 880 и 940 нм.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены ВАХ изотипной гетеростуктры n-3C-SiC/n-Si измеренные без освещения и в условиях освещения светодиодами с длиной волны λ ~ 379, 534, 880 и 940 нм при одинаковой интенсивности. Полученные ВАХ демонстрируют четко выраженное выпрямление. ВАХ при прямом смещении описываются уравнением вида $I_F \sim I_0\exp[qV/nkT]$, где q – заряд электрона, V – приложенное смещение, k – постоянная Больцмана, T – температура измерения, n – фактор неидеальности и I_0 – ток насыщения. Величина n и I_0 определялась из линейного участка ВАХ при прямом смещении и соответствовала 1.5 и 1.3 мкА/см^2 соответственно. Установлено, что при обратном смещении напряжения темновой ток утечек имеет вид $I_s \sim V^m$ (m=1) и составляет 0.37 мА/см^2 при 10 В. При воздействии ультрафиолетового (379 нм), видимого (534 нм) и инфракрасного (880 и 940 нм) излучения происходит увеличение обратного тока утечек от 0.26 мА/см^2 до 14 мА/см^2 при 10 В соответственно. При измерении ВАХ при прямом смещении, наблюдается сдвиг ВАХ в область положительного напряжения, что является результатом фотогальванического эффекта.

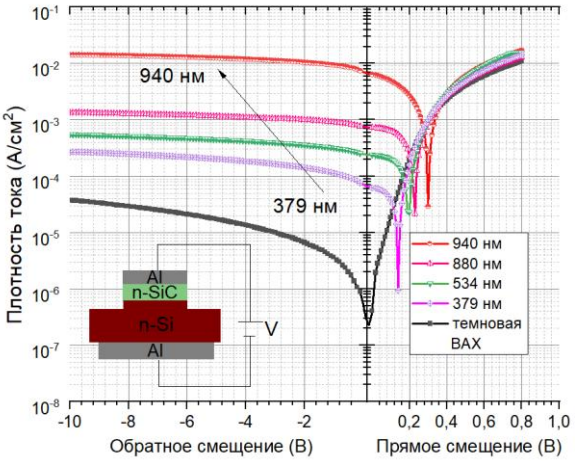

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры n-3C-SiC/n-Si, измеренные без освещения и при освещении

Особенности ВАХ при различных условиях освещения можно интерпретированы с учетом возможной диаграммы энергетических зон гетроструктуры n-3C-SiC/n-Si**.** При построении диаграммы использовались следующие физические параметры: E_g (для Si =1.12 эВ, для 3C-SiC=2.38 эВ) и энергия электронного сродства (χ) (для Si =4.05 эВ, для 3C-SiC=3.6 эВ [6]). Зонная диаграмма гетероструктуры n-3C-SiC/n-Si представлена на рис. 2. Вследствие различных энергий χ_{Si} и χ_{SiC} обедненная область в гетероструктуре

туре n-3C-SiC/n-Si находится в области 3C-SiC, тогда как обогащенная область находится в области Si. Темновые измерения ВАХ при прямом и обратном смещении определяются двумя параметрами: величиной потенциального барьера в области 3C-SiC и разрывом зон проводимости ΔE_c материалов. Так как ΔE_c не зависит от приложенного смещения, темновая ВАХ при обратном смещении имеет линейный вид.

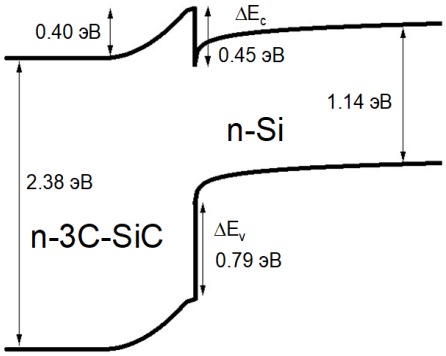

Рис. 2. Диаграмма энергетических зон гетероперехода 3C-SiC/Si

Оптическое излучение видимого и инфракрасного диапазона проходит через слой 3C-SiC без потерь и поглощается в слое Si, что приводит к генерации фототока. Напротив, при освещении в ультрафиолетовом диапазоне спектра, поглощение происходит в слое 3C-SiC, поскольку, энергия падающего фотона (3.3 эВ) превышает ширину запрещённой зоны 3C-SiC. Это приводит к снижению эффективности фотопреобразования и величины фототока в слое Si по сравнению со случаем освещения в видимом и инфракрасном спектральных диапазонах.

Заключение

Таким образом, методом молекулярно лучевой эпитаксии сформированы гетероструктуры n-3C-SiC/n-Si. Установлено, что ВАХ гетероструктуры является выпрямляющей с фактором неидеальности 1.5 и током насыщения 1.3 мкА/см^2. Показано, что изотипный гетеропереход n-3C-SiC/n-Si возможно использовать в качестве многоспектрального фотодетектора, поскольку излучение 380 нм приводит к увеличению тока утечки до 0.26·мА/см^2, а излучение 940 нм до 14 мА/см^2. Поведение ВАХ было интерпретировано с учетом возможной диаграммы энергетических зон гетероструктуры n-3C-SiC/n-Si.

Исследования выполнены в рамках проекта 3.1.2ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций» (№ ГР 20212702) и проекта БРФФИ Т22-030 (№ ГР 20221052).

Библиографические ссылки

1. Zhang F., Ding Y., Zhang Y., Zhang X., Wang Z.L. Piezo-phototronic effect enhanced visible and ultraviolet photodetection using a ZnO-CdS core-shell micro/nanowire. *ACS Nano* 2012; 6(10): 9229-36.
2. Youngblood N., Chen C., Koester S., Li M. Waveguide-integrated black phosphorus photodetector with high responsivity and low dark current. *Nature Photon* 2015; (9): 247-252.
3. Lim S., et al. Broadband omnidirectional light detection in flexible and hierarchical ZnO/Si heterojunction photodiodes. *Nano Res.* 2017; (10): 22-36.
4. Aldalbahi A., et al. A new approach for fabrications of SiC based photodetectors. *Sci Rep*. 2016; (6): 23457.
5. Skibarko I.A., et al. Structural and optical properties of GaN/SiC/Si heterostructures grown by MBE. *Inst.Phys.Conf.Ser.* 1999; 166: 465-469.
6. Afanas'ev V.V., Bassler M., Pensl G., Schulz M.J., Stein von Kamienski E. Band offsets and electronic structure of SiC/SiO2 interfaces. *J. of Appl. Phys.* 1996; 79(6): 3108-3114.