

[4] О ц у к и Е.-Х. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. М.: Мир, 1985. 277 с.

Московский
инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
19 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 19 12 октября 1988 г.

ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЙ ДИОД $Cr-SiC$ - ФОТОДЕТЕКТОР УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Р.Г. В е р е н ч и к о в а, В.И. С а н к и н

Создание твердотельных фотоприемников с высокими значениями пороговой чувствительности и быстродействия в УФ-области спектра является насущным требованием современной техники [1]. Используемые в настоящее время полупроводниковые материалы не в полной мере обеспечивают эффективную работу таких фотоприемников в области длин волн 200–300 нм. По ряду свойств карбид кремния гексагональной модификации выгодно отличается в этом отношении от других материалов. Кроме известной высокой радиационной стойкости этого материала [2], он обладает необходимыми спектральными характеристиками. Согласно [3], в области спектра 250–350 нм коэффициент поглощения SiC меняется от 10^3 см⁻¹ до $5 \cdot 10^4$ см⁻¹. Для других известных полупроводников величина поглощения на коротковолновой границе указанной области превышает 10^5 см⁻¹, что затрудняет получение высокой квантовой эффективности из-за существенных потерь, вызванных поверхностной рекомбинацией.

В работах [4, 5] показана возможность детектирования УФ-излучения карбид-кремниевыми р-п-переходами, а в работе [6] приведены спектральные характеристики и фоточувствительность барьеров Шоттки на основе 6H-SiC. Следует отметить, что спектральные характеристики фоточувствительности приборов с р-п-переходами (в силу расположения области объемного заряда на некотором расстоянии от поверхности) имели резкий спад уже в районе около 300 нм. Как отмечалось выше, фоточувствительность 6H-SiC ($E_g = 3.07$ эВ) должна быть высокой и в области $\lambda \leq 300$ нм. Кроме того, еще более коротковолновой границы можно достигнуть с помощью фотоприемника на основе 4H-SiC, ширина запрещенной зоны которого на $\Delta E_g = 0.19$ эВ больше, чем в 6H-SiC. Конечно, и в ФД с р-п-переходом можно добиться расширения чувствительности в коротковолновую область за счет создания тонких слоев между ООЗ и освещаемой поверхностью. Однако это сопряжено с решением достаточно непростой технологической задачи.

Цель данной работы заключалась в создании и исследовании фотодиода с барьером Шоттки на основе карбида кремния. Заметим, что ООЗ барьера Шоттки находится вблизи поверхности, т.е. отсут-

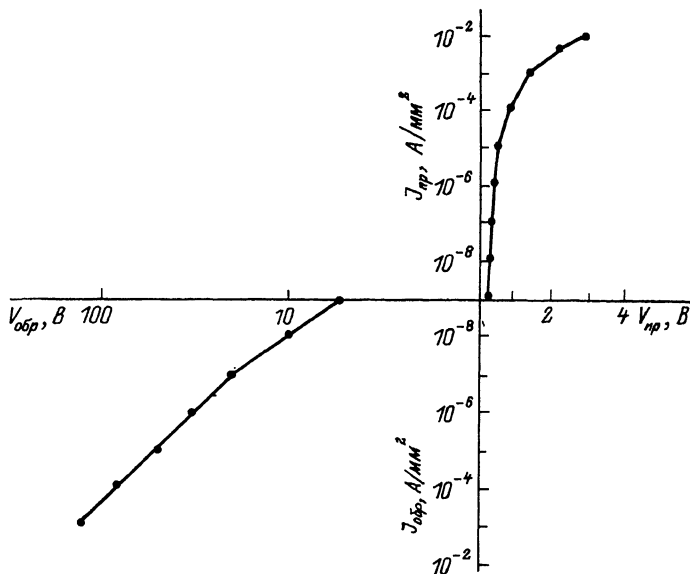


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки $Cr-SiC$ политипа 6H.

ствуется пассивный, поглощающий свет слой полупроводника, поэтому абсолютная чувствительность таких фотодиодов может служить основой для оценки максимальной чувствительности и фотодиодов с р-п-переходами.

Барьеры Шоттки формировались на поверхности монокристаллических пластин карбида кремния или на эпитаксиальных пленках, выращенных на таких пластинах по методике, описанной в [7]. Как правило, это были образцы п-типа проводимости с типичной концентрацией $N_d - N_a \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$. В качестве полупрозрачного металлического контакта использовался тонкий слой напыленного в вакууме хрома. При площади контакта 10^{-2} см^2 емкость таких структур составляла около 700 пф при внешнем напряжении $V = 0 \text{ В}$. Вольт-амперная характеристика поверхностно-барьерного диода показана на рис. 1. Прямая ветвь ВАХ описывается выражением

$$J \sim \exp \frac{e\varphi}{kT} \exp \left(\frac{eV}{nkT} - 1 \right),$$

где φ — высота барьера равная для 6H-SiC 1.2–1.3 эВ, для 4H-SiC 1.5–1.6 эВ. Коэффициент идеальности барьерной структуры $n = 1.05$ –1.1. Обратная ветвь обусловлена, по-видимому, сложным механизмом туннелирования и не описывается простыми формулами термополевой эмиссии [8]. Приведенная ВАХ иллюстрирует доста-

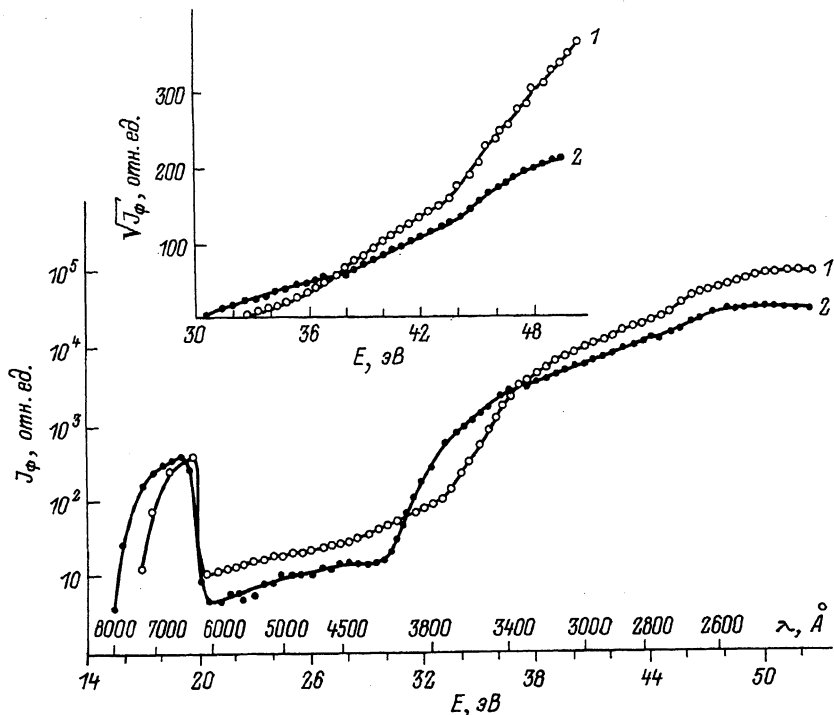


Рис. 2. Спектральные характеристики фототока короткого замыкания барьеров Шоттки: 1 - политип 4H ($N_d - N_a = 1.4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), 2 - политип 6H ($N_d - N_a = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$).

точно высокое совершенство диодных структур. Диффузионная длина дырок определялась по методике, описанной в [9], и составляла для исследуемых структур $L_p = 0.2-0.3 \text{ мкм}$, а ширина $0.03 W = 0.15-0.4 \text{ мкм}$ при $V = 0 \text{ В}$. В области длин волн $250-300 \text{ нм}$ $W + L_p = (1-2) \lambda$, что дает основание ожидать высокой эффективности и высокого быстродействия фотоприемника. Спектральные характеристики фотодиодов, как и другие характеристики приборов, определялись в вентильном режиме работы. На рис. 2 показаны спектры фотодиодов короткого замыкания J_{ϕ} к.з., которые снимались на двойном спектрометре СДЛ-1 с разрешением по энергии не хуже, чем 0.03 эВ , что позволило резко уменьшить влияние рассеянного света в области $4.1-5 \text{ эВ}$.

В области энергий $1.4-2.8 \text{ эВ}$ для 6H - SiC и $1.6-3.1 \text{ эВ}$ для 4H - SiC основной вклад в фототок вносят электроны, эмитируемые из металла и с уровней поверхностных состояний на границе раздела. Резкое увеличение фототока происходит при энергии первого непрямого перехода, фоточувствительность в собственной области спектра на $1.5-2$ порядка больше, чем в области малых

энергий. При энергиях фотонов 4.4–4.5 эВ наблюдается тенденция роста величины фототока, в координатах $J_{\varphi}^{1/2} \approx f(E)$ спектральная кривая претерпевает заметный излом. Существенно, что эта особенность наблюдается в спектрах обоих политипов, и точка излома практически совпадает по энергиям. В спектрах фоточувствительности, приведенных в [6], такой особенности не было обнаружено. Ранее сообщалось о наличии особенности около 4.6 эВ в спектрах поглощения [3] и отражения [10], которая, предположительно, приписывалась прямым переходам. Наличие идентичных особенностей в спектрах фототока в 6H- и 4H-SiC вблизи 4.4–4.5 эВ является достаточно веским аргументом в пользу этого предположения, поскольку энергии непрямых переходов в этих политипах должны существенно различаться, подобно тому, как различаются первые непрямые запрещенные зазоры в 6H- и 4H-SiC. Величина абсолютной фоточувствительности на длине волны $\lambda = 250$ нм $\theta \approx 0.15$ А/Вт.

Важнейшей характеристикой, определяющей пороговую чувствительность фотодиода, является мощность дробового шума. Мы определяли дробовые шумы приборов по методике, использованной в [10]. Шумы измерялись в полосе частот 10 кГц на нагрузке $R_H = 1$ кОм. Фототок, полученный при освещении лампой ДКСШ-200 в полосе длин волн $\lambda = 350$ –400 нм, составлял $J_{\varphi} \approx 10^{-5}$ А. Сигнал дробового шума фотодиода был очень мал. Согласно этим измерениям, обнаружительная способность его лучше, чем $D^* > 10^{12}$ см·Гц^{1/2} Вт⁻¹, а пороговая чувствительность не хуже $P < 10^{-13}$ Вт·Гц^{-1/2}. Сравнительное исследование уровней дробового шума лучших кремниевых фотодиодов и поверхностно-барьерных SiC-фотодиодов в одинаковых режимах показало, что дробовой шум в SiC-фотодиодах в несколько раз ниже.

Значение темнового тока в SiC-фотодиодах, определенное из соотношения $V_{xx} \approx \frac{kT}{q} \ln \frac{J_{\varphi}}{J_T}$, составляло $J_T \approx 10^{-12}$ А/см² (при $V_{xx} = 0.52$ В и $J_{\varphi} = 15 \cdot 10^{-6}$ А).

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что SiC-фотодиоды являются высокочувствительными фотоприемниками для детектирования сигналов УФ-излучения.

В заключение выражаем благодарность Ю.А. Водакову за полезные обсуждения результатов работы и А.А. Мальцеву за любезно предоставленные образцы с эпитаксиальными пленками.

Л и т е р а т у р а

- [1] А н и с и м о в а И.Д., В и к у л и н И.М. и др. Полупроводниковые фотоприемники. М., 1984. 216 с.
- [2] A u k e r m a n L.W., G o r t o n H.G., W i l l a r d s o n R.K. and M a j o r V.E. Eryson Silicon Carbide a high temperature semiconductor, ed. by J.R. O'Connor and Smiltens, 1960, p. 388–394.

- [3] Chouke W.I. - Phys. Rev., 1968, 172, N 3, p. 769-772.
- [4] Campbell R.B. and Hung - Chiang.- Sol. St. Electronics, 1967, 10, N9, p.949-953
- [5] Виолина Г.Н., Холуянов Г.Ф. - Радиотехника и электроника, 1966, т. 11, № 11, с. 2034-2038.
- [6] Балландович В.С., Омар О.А., Попов В.А.- Изв. ЛЭТИ, 1979, в. 250, с. 20-23.
- [7] Веренчикова Р.Г., Санкин В.И., Радovanова Е.И. - ФТП, 1983, т. 17, № 10, с. 1757-1760.
- [8] Родерик Э.Х. Контакты металл-полупроводник. М., 1982. 207 с.
- [9] Санкин В.И., Веренчикова Р.Г. и др. - ФТП, 1982, т. 16, № 7, с. 1325-1327.
- [10] Wheeler B.E. - Solis St. Commun., 1966, v. 4, N 3, p. 173-175.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
4 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 19

12 октября 1988 г.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РЕЗОНАНСНУЮ ЧАСТОТУ КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ ФЕРРИТ - ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК

А.Е. Гелясин, В.М. Лалетин

В работе впервые сообщается об обнаруженном смещении магнитным полем резонансных частот пьезорезонаторов из композиционной керамики типа пьезоэлектрик-феррит.

Композиционная керамика типа пьезоэлектрик-феррит (ПЭ-Ф) представляется интересным физическим объектом и перспективным материалом для практического применения [1, 2]. Результаты работ [3, 4] свидетельствуют о существовании в такой керамике магнитоэлектрического эффекта - возникновение переменной ЭДС при воздействии на поляризованную керамику одновременно переменным и постоянным магнитными полями. Указанный эффект позволил предположить, что магнитное поле должно оказывать влияние на другие свойства композиционной керамики ПЭ-Ф, в частности влиять на пьезорезонансные частоты.

В настоящей работе исследовано влияние магнитного поля на резонансные частоты композиционной керамики типа пьезоэлектрик-феррит. В качестве модельной системы использовали двухфазную керамику титанат бария - феррит никеля. Образцы получали спеканием прессованной смеси титаната бария и феррита никеля при 1340 °C