

06.2;06.3;07;12

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУР НА АНОДИЗИРОВАННЫХ СЛОЯХ КАРБИДА КРЕМНИЯ

© А.А.Лебедев, А.А.Лебедев, В.Ю.Рудь,
Ю.В.Рудь, А.М.Стрельчук

Обнаружение эффективной излучательной рекомбинации из видимого спектрального диапазона в анодизированных слоях кремния, получивших затем название пористого кремния, вызвало к жизни новое направление в полупроводниковом материаловедении, состоящее в изменении фундаментальных свойств приповерхностной области известных веществ [1]. В настоящее время наметились естественные попытки распространить этот подход на другие полупроводниковые материалы, что может дать, в конечном счете, возможность более однозначно интерпретировать природу наблюдаемых изменений фундаментальных свойств полупроводников, которые еще в недалеком прошлом казались непоколебимыми. Вслед за кремнием увеличение эффективности излучательной рекомбинации в результате анодного травления было обнаружено и на слоях пористого карбида кремния (ПКК) [2-4], которые формировались на подложках политаипа 6Н. В данной работе представлены результаты первых исследований фотоэлектрических свойств поверхностно-барьерных структур, созданных на свободных от подложки слоях анодизированного карбида кремния.

Для получения свободного ПКК были использованы электрически однородные монокристаллические пластинки 6Н-SiC со средними размерами $8 \times 5 \times 1$ мм³. Пластины эти были выращены методом Лели [5] и имели кристаллографическую ориентацию зеркальной плоскости (0001) и концентрацию свободных электронов $\approx 10^{18}$ см⁻³ при 300 К. Кристаллы обнаруживали характерную для SiC высокую твердость, и на них не удавалось сделать каких-либо царапин с помощью металлической иглы или корунда. Анодное травление осуществлялось в разработанной для кремния ячейке, в которой использовалась смесь 2 ч. HF + 3 ч. C₂H₅OH + + 0.1 ч. HNO₃ (части объемные). Процесс проводился в течение 40-120 мин при плотностях тока 20-120 мА/см² при комнатной температуре без дополнительной подсветки.

Как показали наши эксперименты, в результате такого травления на однородно окрашенных в светло-зеленый цвет

пластинах 6H-SiC возникает слой желтоватого цвета, который сформирован в приповерхностной области этих пластин, и его геометрия определяется формой контакта кристалла с электролитом. После завершения процесса пластины промывали и сушили, причем образовавшиеся слои сохранялись на подложках 6H-SiC. При возбуждении ультрафиолетовым излучением ртутной лампы слои при комнатной температуре обнаруживали интенсивную люминесценцию, которая визуальнo воспринимается как свет от лампы накаливания, что указывает на широкую спектральную область свечения анодизированных слоев. Следует заметить, что подложки исходного SiC при использованной интенсивности возбуждения не обнаруживали заметного свечения в видимом диапазоне, что качественно указывает на повышение эффективности люминесценции карбида кремния в результате анодного травления.

В ходе эксперимента по разработке режимов травления было обнаружено, что при определенных условиях такой обработки происходит кардинальное изменение в приповерхностной области пластин. Это изменение заключается в том, что механическая прочность "сцепления" образующихся слоев с подложкой 6H-SiC нарушается и с помощью острия иглы удается отщеплять от подложки пластины с толщиной 50–100 мкм и площадью $3 \times 3 \text{ мм}^2$. Такие пластинки легко расщепляются, подобно слюде, и прозрачны в видимом спектральном диапазоне. Плоскости естественных сколов зеркальные и очень совершенные. Следовательно, полученные слои анодизированного SiC в отличие от исходного высокопрочного вещества обнаруживают свойства, характерные для предельно анизотропных слоистых сред, в которых сильно выраженная спайность и способность образовывать идеальные плоскости скалывания объясняются возникновением между слоями слабых Ван-дер-Ваальсовских сил, тогда как в пределах слоя химические связи близки к ковалентным. Поэтому есть основания полагать, что анодное травление 6H-SiC сопровождается изменением в характере химической связи. Этот вопрос нуждается в специальном исследовании.

Появление возможности преодолеть высокую механическую прочность 6H-SiC, которая обычно является камнем преткновения для обработки этого вещества в "нормальном" состоянии, позволило получить свободные прозрачные пластины анодизированного SiC с идеальными плоскостями сколов. На таких пластинах свободного ПКК были созданы выпрямляющие поверхностно-барьерные структуры и выполнены исследования их фоточувствительности. Главные результаты этих исследований суммированы на рис. 1 и 2 сводятся к следующему.

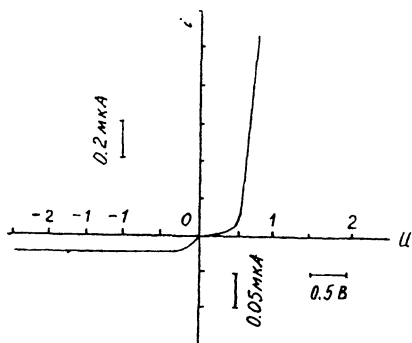


Рис. 1. Типичная стационарная вольт-амперная характеристика поверхностно-барьерной структуры In-свободный пористый SiC при $T = 300$ К.

Выпрямляющие контакты к исходному 6H-SiC и к отщепленным пластинкам получали путем напайки индия. Площадь контакта была порядка 1 мм^2 . Такие контакты имели ярко выраженные диодные характеристики (рис. 1), причем пропускное направление было при положительной полярности внешнего смещения на индиевом контакте. Прямая вольт-амперная характеристика таких структур при $U > 0.5$ В имеет вид $U = U_{\text{отс}} + R_{\text{ост}}I$, где $U_{\text{отс}} \approx 0.5$ В и $R_{\text{ост}} \approx 10^5 - 10^6$ Ом для разных структур при 300 К. Напряжение отсечки определяется, по-видимому, высотой потенциального барьера между In и SiC. Резкое увеличение обратного тока происходит обычно при достижении напряжения $U_{\text{обр}} \approx 3 - 5$ В при 300 К.

Измерения фотоответа производились в режиме тока короткого замыкания на нагрузке $\approx 10^3$ Ом. Люкс-амперные характеристики были линейными, что позволило нормировать фотответ на число падающих на образец квантов. На рис. 2 приведены нормированные на максимум спектры фотоответа поверхностно-барьерных структур на основе объемных кристаллов исходного SiC (кривая 1) и ПКК (кривые 2 и 3). Возникающий в сравниваемых структурах фотовольтаический эффект характеризуется близкой спектральной зависимостью.

При освещении таких структур со стороны барьерного контакта фоточувствительность наблюдается в широкой спектральной области от 0.8 до 3.8 эВ, причем максимум фотоответа находится в ультрафиолетовой области спектра вблизи $\hbar\omega = 3.7$ эВ. При освещении барьера че-

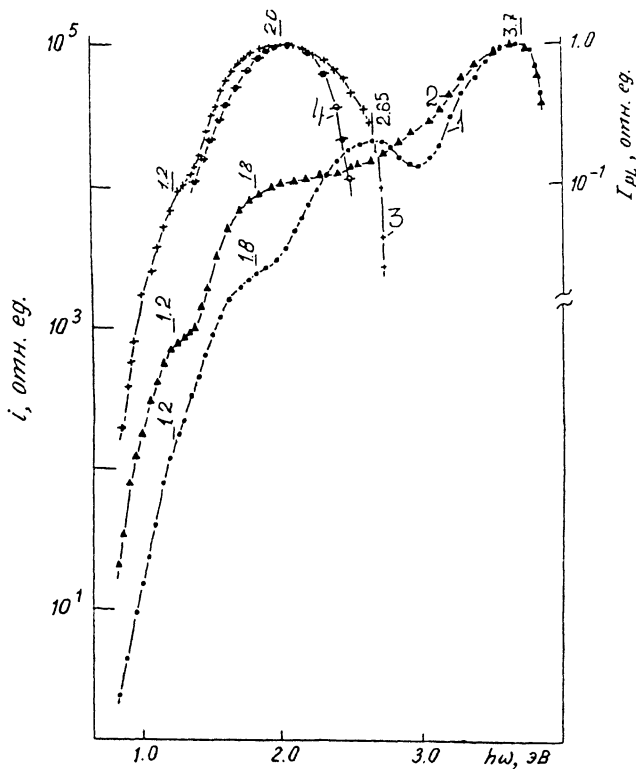


Рис. 2. Нормированные на максимум типичные спектральные зависимости фотопреобразования структур In-исходный SiC (кривая 1); In-свободный пористый SiC (кривые 2 и 3), а также спектр стационарной ФЛ свободного ПКК (кривая 4) при 300 К. Геометрия освещения: 1, 3 — со стороны барьерного контакта, 2 — со стороны ПКК.

рез толщину пластины ПКК (рис. 2, кривая 3) максимум фоточувствительности смещается в длинноволновую сторону и находится при $h\omega \approx 2$ эВ. Резкий спад фотоответа при $h\omega > 2.7$ эВ обусловлен, по-видимому, межзонным поглощением SiC. Длинноволновые особенности спектров при $h\omega \approx 1.8$ и 1.2 эВ связаны с фотоактивным поглощением с участием уровней дефектов.

На рис. 2 приведена также спектральная зависимость стационарной фотолюминесценции (ФЛ) слоя ПКК (кривая 4). Спектральный контур этой полосы близок к тому, который наблюдался ранее в слоях пористого SiC, находящихся на подложке 6H-SiC [4], т. е. анодное травление приводит практически только к росту эффективности излучательных переходов. Максимум полосы ФЛ $h\omega_m \approx 2$ эВ ле-

жит в области энергий, соответствующих переходам с участием примесей или дефектов решетки. Большая ширина полосы ФЛ на полувысоте $\delta_{1/2} \simeq 600 - 700$ мэВ связана, скорее всего, с наличием близких по энергии ионизации уровней дефектов. Рост фоточувствительности в анодизированных слоях в области $\hbar\omega \simeq 1.8$ эВ, с одной стороны, и эффективности ФЛ этих слоев, с другой стороны, может быть связан с увеличением концентрации дефектов в результате травления. Это предположение нуждается в дальнейшей экспериментальной проверке.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства обороны США.

Список литературы

- [1] *Canham L.T.* // Appl. Phys. Let. 1990. V. 57. P. 1046.
- [2] *Matsumoto T., Takahashi J., Tamaki T., Futagi T., Mimira H.* // Appl. Phys. Let. 1994. V. 64. P. 226.
- [3] *Shor J.S., Bemis L., Kurz A.D., Grinberg I., Weiss B.Z., MacMillian M.F., Choyke W.J.* // J. Appl. Phys. 1994. V. 76. P. 4045.
- [4] *Лебедев А.А., Лебедев А.А., Рудь Ю.В.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 3. С. 64.
- [5] *Lely J.A.* // Ber. Deut. Ceram. Ges. 1955. V. 32. P. 229.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
С.-Петербург
Государственный технический
университет
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
22 мая 1996 г.