

Влияния одноосной деформации на электрофизические характеристики $6H\text{-SiC } p\text{-}n\text{-структур}$

© А.А. Лебедев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 26 ноября 1999 г. Принята к печати 1 декабря 1999 г.)

Проведено исследование влияния одноосного давления на спектр электролюминесценции и вольт-амперные характеристики $6H\text{-SiC } p\text{-}n\text{-структуры}$. Обнаружено, что под действием давления происходит быстрое гашение экситонной электролюминесценции и более медленное — примесных полос электролюминесценции. Было также обнаружено, что одноосное давление приводит к искажению формы прямой вольт-амперной характеристики и ее смещению в сторону меньших напряжений. Сделан вывод, что приложение давления приводило к трансформации термоинжекционных токов в туннельные.

Введение

Известно, что одноосная деформация полупроводниковых кристаллов широко используется при исследовании спектров люминесценции, оптического поглощения, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) локальных центров, нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней [1–3]. Приложение одноосного давления в определенных направлениях изменяет симметрию кристалла или (*и*) величину запрещенной зоны, что позволяет получить дополнительную информацию о кристаллической структуре полупроводника и о имеющихся в ней дефектных центрах.

В работе [4], посвященной исследованию действия одноосной деформации на фотолюминесценцию монокристаллов $6H\text{-SiC}$, было обнаружено, что при приложении одноосного давления $\sim 10\text{--}30$ кбар происходило смещение энергетического положения и удвоение некоторых характерных для $6H\text{-SiC}$ линий примесной люминесценции. Точное значение величин сдвигов, так же как и оценки возможного изменения величины запрещенной зоны, не приводилось.

Образцы

В настоящей работе были исследованы $6H\text{-SiC } p\text{-}n\text{-структуры}$, полученные методом сублимационной эпитаксии в открытой системе (СЭ) [5], которые используются для изготовления различных полупроводниковых приборов на основе SiC [6]. $p\text{-}n\text{-Переходы}$ были сформированы на грани (0001) Si монокристаллических n^+ -подложек карбида кремния политипа $6H$. Легирующей примесью служили Al ($p\text{-тип}$) и N ($n\text{-тип}$ проводимости). Толщина эпитаксиальных слоев $p\text{-типа}$ составляла 1–2 мкм, а толщина слоев $n\text{-типа}$ — 5–10 мкм. Площадь $p\text{-}n\text{-структур}$ составляла $\sim 2.5 \cdot 10^{-3}$ см².

Вольт-фарадные характеристики диодов были линейны в координатах $C^{-2}\text{--}U$. Емкостное напряжение отсечки составляло 2.55 В (комнатная температура). Вольт-амперные характеристики (ВАХ) диодов в диапазоне токов $10^{-6}\text{--}5 \cdot 10^{-4}$ А имели экспоненциальную форму

$J = J_0 \exp(qU/\beta kT)$, где $\beta \sim 1.2$, q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура.

Эксперимент

Для исследований были отобраны $p\text{-}n\text{-структуры}$, которые имели хорошо различимую экситонную электролюминесценцию (ЭЛ). Давление прикладывалось к верхнему и нижнему омическим контактам параллельно кристаллической оси кристалла C . Излучение выводилось через боковую грань кристалла. В данной геометрии эксперимента одноосная деформация не изменяла симметрию кристаллической решетки, однако могла привести к изменению ширины запрещенной зоны, т. е. к смещению максимума экситонной полосы.

Было обнаружено, что с увеличением приложенного давления (P) (при постоянном прямом токе J) происходило быстрое уменьшение интенсивности экситонной электролюминесценции и более медленное — остальных полос ЭЛ. Увеличение давления приводило к такому же изменению спектра электролюминесценции, как и уменьшению величины J (уменьшение концентрации инжектированных в базу носителей) [7]. На рис. 1 представлено изменение отношения интенсивностей ЭЛ при длинах волн 4250 и 4500 Å ($I_{425/450}$). Как видно из рисунка, приложение одноосного давления ~ 15 кбар приводило примерно к такому же уменьшению величины $I_{425/450}$, как и уменьшение на порядок тока через $p\text{-}n\text{-структуру}$ при $P = 0$.

При исследовании воздействия давления на спектр ЭЛ величина прямого тока через $p\text{-}n\text{-структуру}$ поддерживалась постоянной. Для того чтобы экситонная полоса была хорошо различима и при больших значениях P , было выбрано достаточно большое значение тока (400 мА). Пропускание такого тока приводило к саморазогреву $p\text{-}n\text{-структуры}$ до температуры ~ 500 К. Поэтому максимум экситонной полосы (λ_{\max}) при $P = 0$ соответствовал 4280 Å (рис. 2). С увеличением приложенного давления происходило смещение максимума в коротковолновую область до $\lambda_{\max} \approx 4250$ Å при $P = 15$ кбар.

Было проведено отдельное исследование влияния давления на вольт-амперную характеристику диодов. Было обнаружено, что с увеличением величины P происходило сильное искажение формы ВАХ — величина β увеличивалась, а сама ВАХ в области малых токов смещалась в сторону меньших напряжений (рис. 3). После прекращения действия одноосной деформации вплоть до величин давления $\cong 30$ кбар ВАХ исследовавшихся структур, как правило, возвращалась к своему первоначальному виду. В некоторых случаях наблюдалось необратимое искажение экспоненциальной формы ВАХ в области токов $\leq 3 \cdot 10^{-3}$ А, что очевидно, было связано с не-

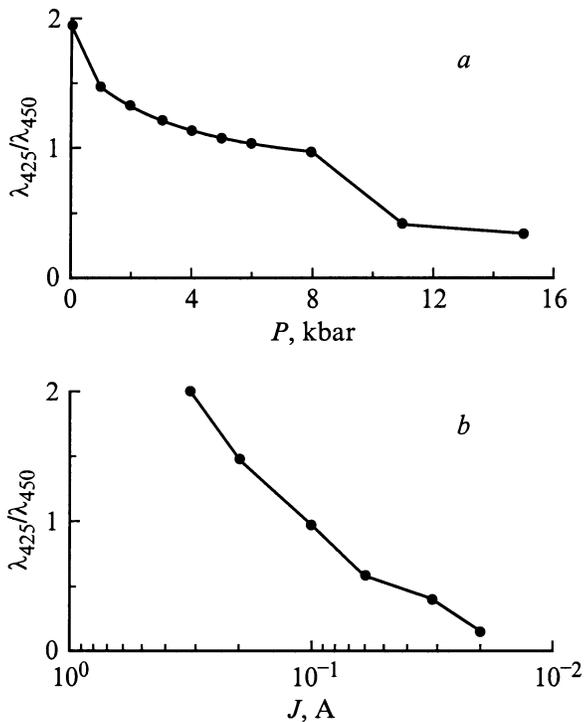


Рис. 1. Зависимость относительной интенсивности экситонной электролюминесценции в $6H$ -SiC p - n -структуре от приложенного одноосного давления (а) и прямого тока (б).

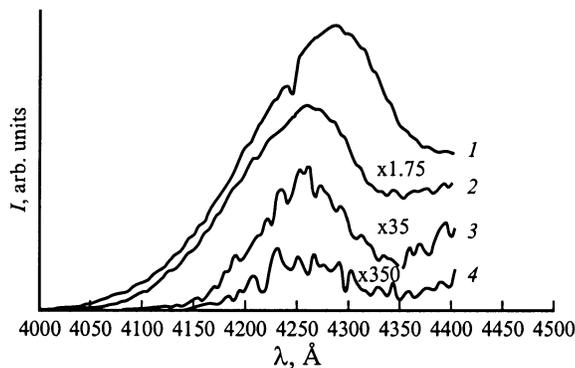


Рис. 2. Зависимость спектра экситонной ЭЛ $6H$ -SiC p - n -структуры от приложенного одноосного давления P , кбар: 1 — 0, 2 — 5, 3 — 11, 4 — 15.

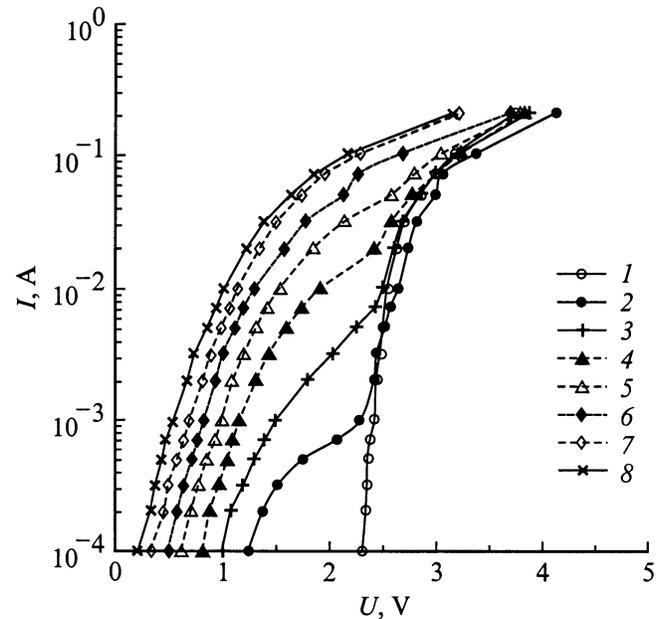


Рис. 3. Зависимость прямых ВАХ $6H$ -SiC p - n -структуры от приложенного одноосного давления P , кбар: 1 — 0, 2 — 0.2, 3 — 1, 4 — 3, 5 — 5, 6 — 8, 7 — 10, 8 — 15.

обратимыми изменениями в кристалле, возникшими под действием давления. Дальнейшее увеличение давления, как правило, приводило к разрушению кристаллов.

Заключение

Таким образом, было обнаружено, что приложение одноосного давления (параллельного кристаллической оси C) к $6H$ -SiC p - n -структурам приводило к уменьшению интенсивности электролюминесценции при постоянном значении тока. С нашей точки зрения, уменьшение интенсивности ЭЛ может быть связано с уменьшением концентрации инжектируемых в базу дырок (т. е. к трансформации термоинжекционных токов в туннельные). Наблюдавшиеся при этом ВАХ характерны для туннельных токов, доминирующих в нейтронно-облученных SiC p - n -структурах [8], а также в необлученных структурах при низких температурах. Отметим, что подобные ВАХ (токи утечки) возможны и в необлученных структурах при повышенных температурах. Обнаруженная обратимость искажения ВАХ позволяет предположить, что одной из причин появления таких токов утечки могут быть поля механических напряжений, возникающие в SiC после выращивания p - n -перехода.

Кроме того, было обнаружено, что под действием давления происходило смещение максимума экситонной полосы ЭЛ на величину ≈ 20 мэВ при 15 кбар. Отметим, однако, что смещение могло быть по крайней мере частично связано с уменьшением саморазогрева структуры. Причиной этого могло быть как уменьшение приложенного напряжения при той же величине тока (за счет

изменения формы ВАХ), так и возможное улучшение теплоотвода. Таким образом, можно сделать вывод, что изменение ширины запрещенной зоны $6H$ -SiC при приложении давления 15 кбар не превосходит 20 мэВ.

Список литературы

- [1] А.А. Каплянский. Оптика и спектроскопия, **10**, 165 (1961).
- [2] А.А. Каплянский, Н.А. Москвин, А.К. Пржевуский. Опт. и спектр., **10**, 368 (1961).
- [3] А.А. Лебедев, Н.А. Султанов, В. Экке. ФТП, **21**, 321 (1987).
- [4] Ch. Haberstroh, R. Helbig, R.A. Stein. J. Appl. Phys., **76**, 509 (1994).
- [5] M.M. Anikin, A.A. Lebedev, S.N. Pyatko, A.M. Strel'chuk, A.L. Syrkin. Mater. Sci. Eng. B, **11**, 113 (1992).
- [6] M.M. Anikin, P.A. Ivanov, A.A. Lebedev, S.N. Pyatko, A.M. Strel'chuk. In: *Semiconductor Interfaces and Microstructures*, ed. by Z.C. Feng (World Scientific, Singapore, 1990) p. 280.
- [7] A.A. Lebedev, V.E. Chelnokov. Diam. Relat. Mater., **3**, 1393 (1994).
- [8] В.В. Евстропов, А.М. Стрельчук. ФТП, **30**, 92 (1996).

Редактор В.В. Чалдышев

Influence of the one-axis stress on electrophysical parameters of $6H$ -SiC p - n structures

A.A. Lebedev

Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract A study has been made of the influence of one-axis stress on electroluminescence (EL) and current-voltage (I - V) characteristics of the $6H$ -SiC p - n structures. It has been found that under the stress a fast extinguishing of exciton EL takes place as well as that of impurity EL bands.