

- [1] Приходько А.В., Чеснис А.А. Запоминающий элемент. А.с. № 637865. Оpubл. Б.И. 1978. № 6.
- [2] Богачев С.В., Емельченко Г.А., Ильин В.А. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. В. 3. С. 166-168.
- [3] Асламазов Л.Г., Фистуль М.В. // ЖЭТФ. 1981. № 8. С. 382-387.
- [4] Приходько А.В., Декснис А.П., Чеснис А.А. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 1. С. 193-195.

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

Поступило в Редакцию
11 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15

12 августа 1989 г.

07

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ SiC -6H,
ЛЕГИРОВАННОГО Ga , ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ
ВОЗБУЖДЕНИЯ

Ю.А. В о д а к о в, Е.Н. М о х о в,
В.И. С о к о л о в, В.С. В а в и л о в,
А.И. И в а н о в, М.В. Ч у к и ч е в

Ga в 6H- SiC является акцепторной примесью и активатором эффективной люминесценции в голубой области спектра [1-4]. Поэтому введение Ga в SiC представляет интерес в связи с изготовлением голубых светоизлучательных диодов [4, 5].

К сожалению, данные по фотолюминесценции (ФЛ) $SiC < Ga >$ были ограничены сравнительно низкими уровнями возбуждения ФЛ $10^{19}-10^{20} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$, что более чем в 10^3 раз ниже, чем в случае электролюминесценции (ЭЛ). В результате затруднялось сравнение особенностей ЭЛ и ФЛ, необходимое для понимания механизма излучательной рекомбинации и оптимизации параметров светодиодных структур [4].

Отсутствовали также надежные количественные сведения о влиянии концентрации примесей и собственных дефектов на спектральные характеристики люминесценции в $SiC < Ga >$.

В настоящей работе исследовалась катодолюминесценция (КЛ) 6H- SiC , легированного Ga и N , введенных в процессе выращивания эпитаксиальных слоев (ЭС) из паровой фазы. Рост ЭС проводился сублимационным „сэндвич-методом” [6] при температуре 2100-2300 °C в среде Ar . Изучаемые образцы были p- и p-ти-

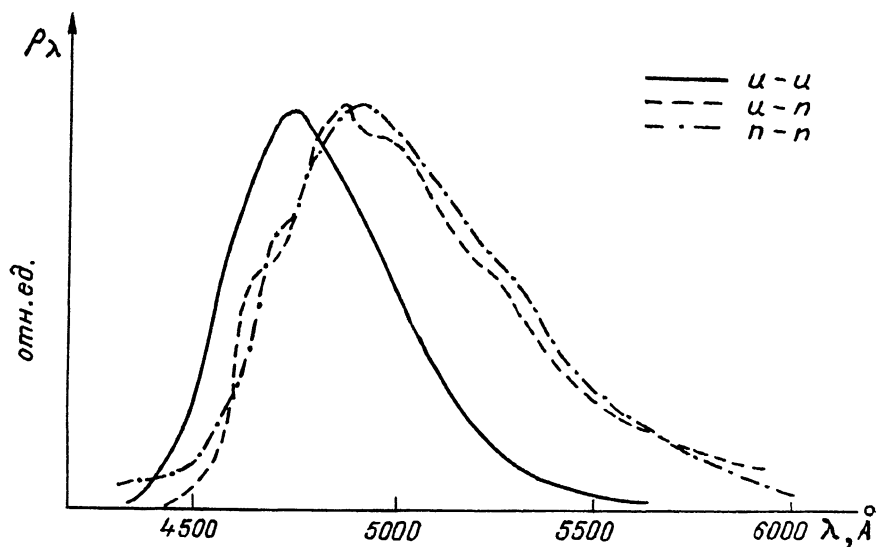


Рис. 1. Характерный спектр КЛ для $6H-SiC\langle Ga, N \rangle$ при высоких уровнях возбуждения. И-И — быстрый компонент (импульсное возбуждение), И-П — медленный компонент (импульсное возбуждение), П-П — постоянное возбуждение.

пов проводимости с концентрацией Ga , определяемого нейтронно-активационным анализом, $(1-9) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Содержание донорной примеси азота N_2 варьировалось путем дозированного введения N_2 в паровую фазу и составляло $1 \cdot 10^{17} - 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. В ряде экспериментов $3C-SiC$ выращивались в присутствии изовалентной примеси Sn , что позволяло изменить стехиометрический состав в пользу избытка углерода [7].

Люминесценция кристаллов возбуждалась пучком электронов с энергией 40 кэВ. Использовались два режима возбуждения. 1) Режим постоянного во времени возбуждения. Скорость генерации электроннодырочных пар (g) в кристаллах в этом режиме менялась в пределах $10^{20} - 10^{22} \text{ (с}^{-1} \text{ см}^{-3})$. 2) Режим импульсного возбуждения. Длительности импульсов $\tau_u = 0.8 \mu\text{с}$, частота следования 200 Гц. В этом режиме g менялась в пределах $10^{24} - 10^{26} \text{ (с}^{-1} \text{ см}^{-3})$.

Спектры КЛ регистрировались с помощью спектрофотометра ДФС-12 и ФЭУ-79. В режиме 1 сигнал с фотоумножителя поступал на усилитель постоянного тока У5-9 и записывался на самописец (спектры П-П на рис. 1). В режиме 2 для регистрации спектра использовался или У5-9 (кривые И-П на рис. 1) или широкополосный усилитель УШ-10 с последующим синхронным детектированием сигнала (спектры И-И на рис. 1). Как следует из методик регистрации, основной вклад в спектр катодолюминесценции в режиме И-П дает медленный компонент рекомбинации, а в режиме И-И — быстрый. Спектры корректировались на спектральную чувствительность установки. Исследования проводились в температурном интер-

вале 4,2–400 К. Результаты измерений спектров КЛ одного из образцов при $T = 4,2$ К представлены на рис. 1. Спектр П–П совпадает с известными литературными данными [3, 8]. Широкая (полуширина $\geq 0,3$ эВ) полоса с характерными максимумами и перегибами объясняется наложением двух серий полос (В- и С-серии), каждая из которых обусловлена излучательными переходами в донорно-акцепторных парах $N-Ga$ (бесфононные полосы B_0 и C_0) и их фононными повторениями с преобладающим участием в переходе 4θ – фононов. Максимум в спектре приходится на первое фононное повторение C_0 –полосы (2,54 эВ). В отличие от [8], где две серии полос объясняются наличием двух неэквивалентных положений донора азота в решетке SiC , отличающихся по энергиям активации на 50 мэВ, мы связываем две серии полос с наличием двух разных донорных уровней (возможно парамагнитный и непарамагнитный азот [9]), каждый из которых имеет по 3 неэквивалентных положения.

Спектр И–П (медленный компонент рекомбинации) на рис. 1 совпадает со спектром П–П, но характерные максимумы и перегибы выражены менее четко и сдвинуты несколько в длинноволновую область, что характерно для спектров после свечения через донорно-акцепторные пары. В пользу того, что спектры П–П и И–П имеют одну природу, можно привести такой факт, что с увеличением оба спектра одинаково смещаются в коротковолновую область и оба спектра имеют одинаковую температурную зависимость интенсивности.

Спектр И–И (быстрый компонент спектра КЛ) имеет плавную колоколообразную форму с полушириной $\sim 0,25$ эВ и смещен в коротковолновую область относительно двух других спектров. Исследования показали, что эта полоса определяется излучательными процессами, происходящими в кристалле в течение $< 1\mu s$ после импульса возбуждения КЛ. Зависимость интенсивности И–И-спектра от уровня возбуждения линейна вплоть до $g = 10^{26} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$, в то время как для И–П-спектра наступает насыщение при $g \geq 10^{25} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-3}$.

Быстрый и медленный компоненты спектра КЛ наблюдаются во всем исследованном температурном интервале. Повышение температуры кристалла от 4,2 К сопровождается, в основном, исчезновением структуры в П–П и И–П спектрах, а также суммарным уменьшением интенсивности, связанным с температурным тушением КЛ.

Описанные результаты наблюдались во всех исследованных кристаллах, отличающихся уровнем легирования примесями N и Ga . При этом во всех кристаллах И–И спектр имеет одинаковую форму, положение максимума и полуширины. Для медленного компонента спектра КЛ наблюдается зависимость длинноволнового крыла спектра от примесного состава (рис. 2). Как видно из рисунка, относительная интенсивность длинноволнового крыла спектра наибольшая в образцах р-типа проводимости и наименьшая в ЭС SiC , выраженных в присутствии изовалентной примеси Sn . Поэтому нельзя исключать, что длинноволновая часть И–П-спектра обусловлена

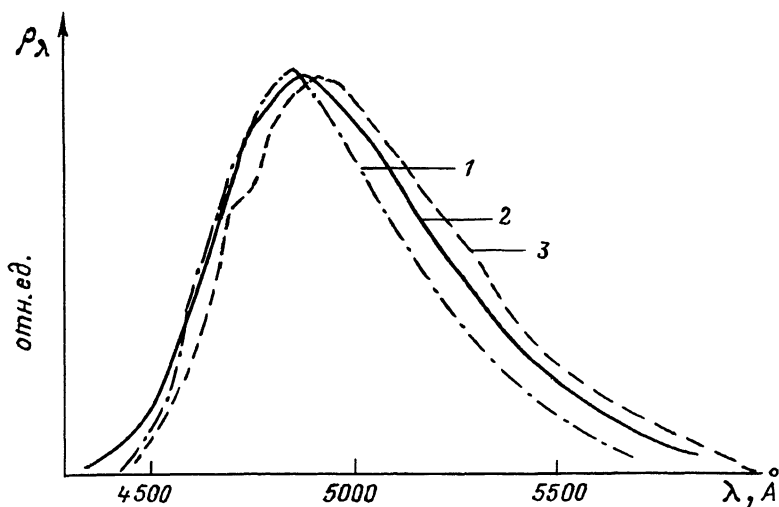


Рис. 2. Медленный компонент спектра КЛ для трех типов образцов $\text{ВН-SiC} \langle \text{Ga}, \text{N} \rangle$. 1 - p -тип проводимости, выращенный в атмосфере паров Sn , 2 - p -тип проводимости, выращенный при отсутствии паров Sn , 3 - r -тип проводимости.

излучательной рекомбинацией с участием собственных дефектов в слоях SiC , вводимых при легировании и связанных, по-видимому, с избыточным сверхстехиометрическим содержанием Si .

Максимум И-И-спектра совпадает с положением первого фоновое повторения B_0 полосы. Этот факт может быть использован для утверждения, что канал рекомбинации через центры, формирующие B -серию спектра излучения, является быстрым, чем второй канал, формирующий C -серию. Однако коротковолновому смещению И-И-спектра может быть дано и другое объяснение: при тех больших уровнях возбуждения, которые достигаются при импульсном возбуждении КЛ, заметный вклад в рекомбинацию вносит новый „быстрый“ излучательный канал зона проводимости - акцептор (галлий). По энергетическому положению излучение через этот канал смещено в коротковолновую сторону относительно донорно-акцепторной (через тот же акцептор) рекомбинации, что и приводит к коротковолновому смещению полосы излучения. Отсутствие зависимости λ_{max} этой полосы от уровня легирования скорее свидетельствует в пользу рекомбинации зона проводимости - акцепторный уровень галлия.

- [1] Х о л у я н о в Г.Ф. // ФТТ. 1965. Т. 7. № 11. С. 3241-3245.
- [2] A d d a m i a n o A. // J. Electrochem. Soc. 1966. V. 113. N 2. P. 134-136.
- [3] V o d a k o v Yu.A., L o m a k i n a G.A., M o k h o v E.N., R a d o v a n o v a E.I., S o k o l o v V.I. et al. // Phys. Stat. Sol. 1976. V. 35. N 1. P. 37-42.
- [4] I k e d a M., H a y a k o w a Y., Y a - m a g i w a S., M a t s u n a m i H., T a - n a k a T. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 12. P. 8215-8225.
- [5] М о х о в Е.Н., Р о е н к о в А.Д., Р а м м М.Г. и др. // Тезисы докладов III Всесоюзного совещания по широкозонным полупроводникам. Махачкала, 1986. С. 67.
- [6] V o d a k o v Yu.A., M o k h o v E.N., R a m m M.G., R o e n k o v A.D. // Krist. und Techn. 1979. V. 14. N 6. P. 829-841.
- [7] В о д а к о в Ю.А., Л о м а к и н а Г.А., М о х о в Е.Н.// ФТТ. 1982. Т. 24. № 5. С. 1377-1383.
- [8] I k e d a M., M a t s u n a m i H. and T a n a k a T. // Phys. Rev. B 1980, V. 22. N 6. P. 2842-2854.
- [9] В е й н г е р А.И., Л е п н ё в а А.А., Л о м а к и н а Г.А., М о х о в Е.Н., С о к о л о в В.И. // ФТП. 1984. Т. 18. № 11. С. 2014-2019.

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

Поступило в Редакцию
18 мая 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15

12 августа 1989 г.

06.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ
ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР $\alpha\text{-Si:H}/\alpha\text{-SiN}_x\text{:H}$
В ХОДЕ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Д.И. Б и л е н к о, Ю.Н. Г а л и ш н и к о в а,
Э.А. Ж а р к о в а, О.Ю. К о л д о б а н о в а,
И.И. Н и к о л а е в а

Многослойные периодические структуры на основе слоев гидрогенизированного аморфного кремния и нитрида кремния привлекают все большее внимание сочетанием различных явлений и необычных