

- [3] Li Y., Eichmann G., Alfano R.R. // Opt. Commun. 1987. V. 64. N 2. P. 99-104.
- [4] Eichmann G., Li Y., Ho P.P., Alfano R.R. // Appl. Opt. 1987. V. 26. N 14. P. 2726-2733.
- [5] Беришев И.Э., Раковский В.Ю., Селишев А.В., Щербаков А.С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 8. С. 14-18.
- [6] Раковский В.Ю., Щербаков А.С. Оптические и оптоэлектронные средства для обработки информации. Л.: ЛИЯФ-ФТИ, 1989. С. 68-76.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
16 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

05.2; 06.3

© 1990

ФИОЛЕТОВЫЕ СВЕТОДИОДЫ
НА БАЗЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ
6Н/4Н-*SiC* $\langle Ga, N \rangle$, ВЫРАЩЕННЫХ СУБЛИМАЦИОННЫМ
„СЭНДВИЧ-МЕТОДОМ“

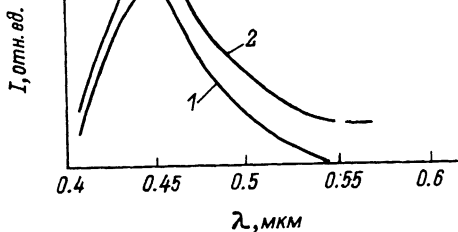
Ю.А. Водаков, Е.Н. Мохов,
А.Д. Семенов, А.Л. Роенков,
В.И. Соколов

Как известно [1, 2], *Al* и *Ga* являются активаторами люминесценции в сине-фиолетовой областях спектра, что представляет интерес в связи с разработкой коротковолновых источников света. В принципе, фиолетовые СИД могут быть получены на базе политипа 6Н-*SiC* [3], но они недостаточно эффективны. Более предпочтительным представляется использование для этой цели широкозонного политипа 4Н-*SiC* [4, 5]. Однако до последнего времени политип 4Н является редким, его распространенность среди промышленных кристаллов не превышает 1 %, что создавало препятствие на пути практического освоения производства фиолетовых СИД на его основе.

Эти трудности удалось успешно решить и получить эффективные фиолетовые СИД на подложках наиболее распространенных политипов *SiC*, таких, как 6Н или 15R, трансформируемых в политип 4Н в процессе роста [5]. В настоящей работе сообщаются параметры таких СИД.

В отличие от [4], где структуры СИД формировались жидкостной эпитаксией на базовых кристаллах политипа 4Н, в данной работе для

Рис. 1. Спектры электролюминесценции фиолетового СИД на $4\text{H-SiC}\langle\text{Ga},\text{N}\rangle$. 1 - $j = 8 \text{ A/cm}^2$, 2 - $j = 80 \text{ A/cm}^2$. $T = 290 \text{ K}$.



трансформации политипа подложки в 4H и создания на его основе электролюминесцентных р-п-структур использовался сублимационный сэндвич-метод

[6, 7]. Это обеспечивало как получение гетероэпитаксиальных слоев 4H-SiC с требуемым содержанием примесей, так и создание качественных р-п-переходов. В качестве подложек применялись монокристаллы 6H-SiC , выращенные методом Лели, с базисной поверхностью $(000\bar{1})\text{C}$, угол от разориентации которой не превышал 20° . Подложки проходили предварительную обработку, аналогичную описанной ранее [7]. Далее на нее наращивался слой политипа 4H п-типа проводимости, толщиной 10–20 мкм. Трансформация политипа осуществлялась за счет введения в паровую фазу изовалентных примесей IV группы [7]. После этого в атмосферу печи вводились примеси галлия и азота, и наращивался слой п- SiC с концентрацией нескомпенсированных доноров $(N_D - N_A) \approx (1-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Концентрация Ga в нем, определяемая нейтронно-активационным анализом, составляла $(2-5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. На заключительном этапе наращивался слой 4H-SiC р-типа проводимости, легированный Al с $(N_A - N_D) \approx 10^{20} \text{ см}^{-3}$ толщиной 3–5 мкм.

После изготовления диодных структур и нанесения омических контактов кристалл разделялся на чипы размером $400 \times 400 \text{ мкм}$. Вывод света осуществлялся через подложку.

Спектр электролюминесценции, снятый при комнатной температуре, находится преимущественно в фиолетовой области (рис. 1). При плотности тока $j = 20-30 \text{ A/cm}^2$ максимум излучения основной полосы $\lambda_{\text{max}} \approx 440-450 \text{ нм}$ и полуширина спектра $\Delta\lambda_{1/2} \approx \approx 70 \text{ нм}$. С увеличением плотности тока максимум излучения немного смещается в коротковолновую область.

Измерение излучаемой мощности проводилось на отдельных элементах в матрице при равномерной диаграмме направленности в пределах плоского угла 120° без просветляющих покрытий. Излучение с торцов не собиралось и не регистрировалось. На рис. 2 приведена зависимость измеренной таким образом интегральной мощности излучения характерного СИД, полученной с использованием калиброванного фотоприемника. Здесь же для сравнения дана аналогичная зависимость для голубого СИД на базе 6H-SiC , легированного галлием и азотом. Видно, что пока мощность излучения фиолетового СИД в 3–4 раза меньше, чем голубого. Исследования показали, что более низкая эффективность фиолетового СИД связана с поглощением света легированным слоем 4H-SiC с под-

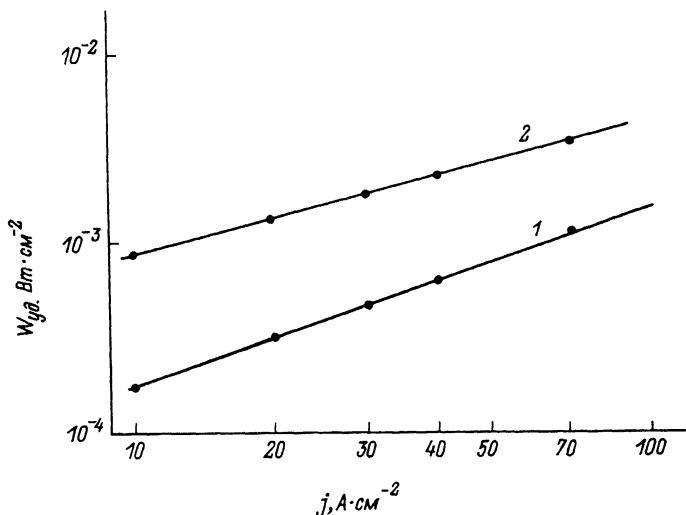


Рис. 2. Зависимость интегральной мощности излучения фиолетового СИД на 4H-SiC <Ga, N> (1) и голубого на 6H-SiC <Ga, N> (2) от плотности тока.

ложкой 6H-SiC. Следует отметить (рис. 2), что зависимость мощности излучения от уровня возбуждения для фиолетового СИД близка к линейной.

Дальнейшие измерения показали, что лучшие фиолетовые СИД имеют внешний квантовый вход $\approx (5-6) \cdot 10^{-5}$. Они характеризуются повышенным быстродействием. Предварительные результаты измерения инерционности показали, что при больших плотностях тока время срабатывания $\tau_{ср} \approx 10^{-8}$ с.

Авторы выражают благодарность Р.Г. Веренчиковой, А.А. Вольфсону, А.В. Наумову за помощь в изготовлении структур СИД, а Г.Ф. Юлдашеву – за определение концентрации галлия.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Suzuki A., Matsunami H., Tanaka T. // Jap. J. Appl. Phys. V. 14. N 6. P. 891-892.
- [2] Suzuki A., Matsunami H., Tanaka T. // Jap. J. Appl. Phys. 1973. V. 12. P. 1083.
- [3] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Морозенко Я.В., Попов И.В., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 4. С. 246-248.
- [4] Дмитриев В.А., Коган Л.М., Морозенко Я.В., Царенков Б.В., Челноков В.Е., Черенков А.Е. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 1. С. 39-43.
- [5] Мохов Е.Н., Водаков Ю.А., Семенов В.В., Роевков А.Д., Константинов А.О., Со-

колов В.И., Веренчикова Р.Г. Труды Коорд. Сов. соц. стран по физическим проблемам оптоэлектроники (оптоэлектроника-89). Баку, 1989. С. 22.

[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. 729-741.

[7] М о х о в Е.Н., Р а м м М.Г., Р о е н к о в А.Д., В о д а к о в Ю.А., Л о м а к и н а Г.А., В е р е н ч и к о в а Р.Г. // Техника средств связи. Серия общетехническая. 1982. В. 5. С. 28-36.

Поступило в Редакцию
12 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

06

© 1990

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ КАНАЛЬНЫХ Rb : КТР-ВОЛНОВОДОВ

К.С. Б у р и ц к и й, Е.М. Д и а н о в,
Н.Г. Д о б р я к о в а, В.А. М а с л о в,
В.А. Ч е р н ы х, Е.А. Щ е р б а к о в

В настоящее время для создания целого ряда интегрально-оптических устройств широко используются волноводы на основе кристаллов $LiNbO_3$. При этом область применения этих устройств ограничивается ближним инфракрасным диапазоном (0.8-1.5 мкм), поскольку в видимом диапазоне волноводы на основе $LiNbO_3$ имеют низкую оптическую стойкость вследствие фоторефрактивного эффекта. Данное обстоятельство ограничивает область применения интегрально-оптических элементов с величиной оптической мощности не более 1 мВт ($\lambda = 633$ нм), при этом плотность мощности не превосходит 10^4 Вт/см².

В работе [1] был предложен способ изготовления диффузных волноводов в кристаллах калий-титанил-фосфата (КТР), которые, наряду с большими нелинейными и электрооптическими константами, характеризуются существенно более высоким порогом объемного оптического повреждения по сравнению с кристаллами $LiNbO_3$, а также меньшей фоторефрактивной чувствительностью. В работе [2] был реализован ввод излучения мощностью 20 мВт ($\lambda = 514$ ем) в планарный Rb :КТР-волновод без заметного нарушения оптических характеристик, максимальная плотность мощности при этом составила 8 кВт/см², а в работе [3] сообщалось о максимальной вводимой в каналный Rb :КТР-волновод мощности све-