

- [1] Samokhvalov A.A., Osipov V.V., Solin N.I., Gunichev A.F., Korenblit I.Ja., Galdikas A.P. - JMMM, 1984, v. 46, N 2, p. 194-198.
- [2] Korenblit I.Ja., Samokhvalov A.A., Osipov V.V. - Soviet Scientific Reviews, Section A, Physics Reviews, 1987, v. 8, p. 449-517.
- [3] Осипов В.В., Самохвалов А.А., Костылев В.А. - ФТТ, 1987, т. 29, в. 9, с. 2809-2811.
- [4] Гуляев Ю.В., Олейник И.Н., Шавров В.Т. - ЖЭТФ, 1987, т. 92, в. 4, с. 1357-1365; Лахно В.Д. - ФТТ, 1985, т. 27, в. 10, с. 2920-2925.
- [5] Конуэлл Э. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1970. 384 с.
- [6] Карпенко Б.В., Кузнецов А.В., Фальковская Л.Д. - Лит. физ. сб., 1988, т. 28, № 2, с. 182-190.
- [7] Давыдов Б.И. - ЖЭТФ, 1936, т. 6, в. 5, с. 471-480.

Институт физики металлов
АН СССР, Свердловск

Поступило в Редакцию
25 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК СИЛЛЕНИТОВ

В.М. А б у с е в, Е.И. Л е о н о в,
А.А. Л и п о в с к и й, И.П. Н и к и т и н а,
С.Э. Х а б а р о в, Л.Г. Х о х а

Одним из перспективных материалов оптоэлектроники являются монокристаллы со структурой силленита $Bi_{12}MeO_{20}$, обладающие удачным сочетанием электрооптических, акустооптических и пьезоэлектрических свойств. Сильная спектральная зависимость фотопроводимости рассматриваемых монокристаллов, а также возможность изменения фотопроводимости в различных диапазонах спектра путем введения легирующих примесей [1], позволяет расширить набор разрабатываемых устройств. Создание тонкопленочных структур на основе таких материалов дает возможность разработки целого ряда приборов, в том числе устройств интегральной оптики [1-3].

Целью настоящей работы было изготовление и комплексное исследование силленитных монокристаллических оптических волноводов с параметрами, варьируемыми в широких пределах. Монокристаллические пленки различных силленитов были получены на подложках $Bi_{12}SiO_{20}$, $Bi_{12}GeO_{20}$ (100), (110) методом жидкофазной

Т а б л и ц а 1

	Расчет	$BGO(B)_1$	$BGO(B)_2$	$BGO(V)$
$W \frac{1}{2}$	7.7°	13.0°	8.8°	13.2°
R_{max}	45 %	31 %	39 %	16 %

эпитаксии, описанным ранее в работах [4, 5]. Исследование кристаллической структуры сформированных пленок проводилось методом двухкristальной рентгеновской дифрактометрии. Двухкristальный спектрометр был собран на базе установки ДРОН-3. В качестве кристаллов-монокроматоров использовались многократно отожженные высокосовершенные монокристаллические пластины германата висмута. Источником первичного излучения служил молибденовый анод ($\lambda_{MoK\alpha} = 0.709261 \text{ \AA}$).

Анализ структурного совершенства монокристаллов типа силленитов имеет ряд особенностей, ограничивающих информационные возможности традиционных дифракционных методов. Ввиду высокой концентрации сильнопоглощающего висмута в элементарной ячейке силленитов, становится затруднительным анализ интегральной интенсивности рассеяния даже для тех отражений, для которых возможна реализация условий динамического рассеяния. Поэтому для оценки структурного совершенства эпитаксиальных пленок были выбраны коэффициент отражения в максимуме (R_{max}) и полуширина ($W \frac{1}{2}$) кривой дифракционного отражения (КДО) „динамического пика“ (600) $MoK\alpha$, значение которой определяется наличием в структуре дефектов протяженного типа.

Нами исследовались легированные и нелегированные эпитаксиальные пленки $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}TiO_{20}$, $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$, полученные на подложках из $Bi_{12}GeO_{20}$ и $Bi_{12}SiO_{20}$. Для структур типа легированная пленка $Bi_{12}GeO_{20}$ / подложка $Bi_{12}GeO_{20}$ значения полуширины и коэффициента отражения в максимуме КДО мало отличаются от расчетных для идеальной структуры (табл. 1). В случае же структур типа пленка $Bi_{12}TiO_{20}$ / подложка $Bi_{12}GeO_{20}$ или пленка $Bi_{12}GeO_{20}$ / подложка $Bi_{12}SiO_{20}$ большое рассогласование решеток пленки и подложки приводит к образованию высокой плотности дислокаций несоответствия, вызывающей резкое уширение КДО ($W \frac{1}{2} = 65^\circ - 100^\circ$).

Исследование волноводных свойств монокристаллических пленок силленитов проводилось на экспериментальной установке, позволяющей определять модовый состав и величину затухания света в оптических волноводах (ОВ). Определение значений эффективных показателей преломления $n_{эфф}$ проводилось по стандартной методике [6] на основе гониометра Г-5. При этом использовались призмённые элементы связи, изготовленные из фосфида галлия, рабочая длина волны $\lambda = 0.633 \text{ мкм}$.

Т а б л и ц а 2

№	Пленка	Подложка	Легирующие элементы	Показатель преломления пленки	Толщина пленки мкм
1	BG0	BS0	Ni	2.550	5.8
2	BG0	BS0	V	2.543	4.4
3	BG0	BS0	V, Ni	2.546	5.9
4	BG0	BS0	-	2.544	4.4
5	BTO	BS0	Ca	2.568	15
6	BTO	BS0	Ga	2.571	21
7	BTO	BS0	-	2.562	26

Точность определения значений $n_{эфф}$ составляла $\pm 2 \cdot 10^{-4}$. На основе обработки результатов измерений модового состава ($n_{эфф}$, для $V \geq 1$) исследуемых ОБ определялась толщина и показатель преломления пленок. Измерение оптического затухания с точностью ± 1 дБ/см проводилось фотометрированием трека излучения, распространяющегося в ОБ при возбуждении заданной волноводной моды.

Высокая точность определения показателя преломления монокристаллических пленок, достигаемая вышеописанной методикой, позволила выявить влияние легирующих элементов на показатель преломления некоторых силленитов. Эти результаты приведены в табл. 2. Как было отмечено выше, рассогласование кристаллических решеток подложки и пленки, что имело место для BG0-BS0 и BTO-BG0 приводит к значительному структурному несовершенству таких пленок, что является, по-видимому, одним из основных факторов, влияющих на оптические свойства волноводных слоев, в том числе и на затухание в них света.

Одним из путей совершенствования таких волноводных монокристаллических структур может быть получение эпитаксиальных слоев твердых растворов с параметрами элементарной ячейки, близкими к параметру подложки, например, пленок твердых растворов системы $Bi_{12}TiO_{20} - Bi_{12}SiO_{20}$ / подложка $Bi_{12}GeO_{20}$. Как известно из зависимости параметра элементарной ячейки от состава [7], параметр элементарной ячейки твердого раствора $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$ с $x=0.5-0.55$ практически совпадает с параметром элементарной ячейки для $Bi_{12}GeO_{20}$. Поэтому нами были проведены исследования по получению, определению структурного совершенства и волноводных свойств монокристаллических пленок $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$ на подложках из $Bi_{12}SiO_{20}$ и $Bi_{12}GeO_{20}$ для x от 0,1 до 0,6. Полуширина двухкристалльных КДО для пленок таких твердых растворов, полученных на подложках из $Bi_{12}GeO_{20}$ уменьшается от $W \frac{1}{2} = 190''$ до $W \frac{1}{2} = 8,2''$, а коэффициент отражения в максимуме

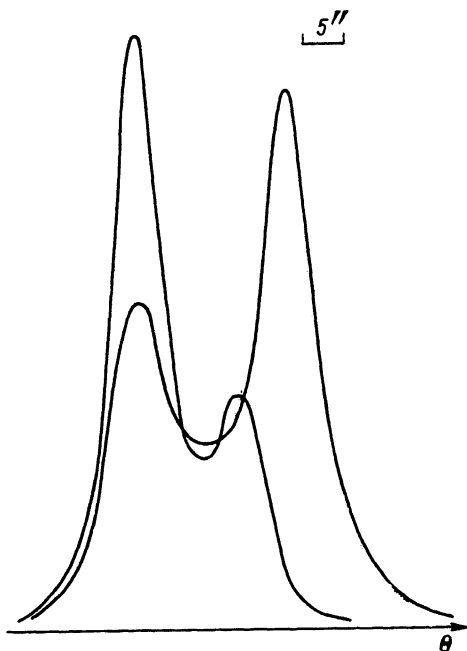


Рис. 1. КДО эпитаксиальных слоев $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$ на подложках $Bi_{12}GeO_{20}$. I - $x=0.48$ ($\alpha_{\text{слоя}}=10.1423 \text{ \AA}$), II - $x=0.43$ ($\alpha_{\text{слоя}}=10.1394 \text{ \AA}$).

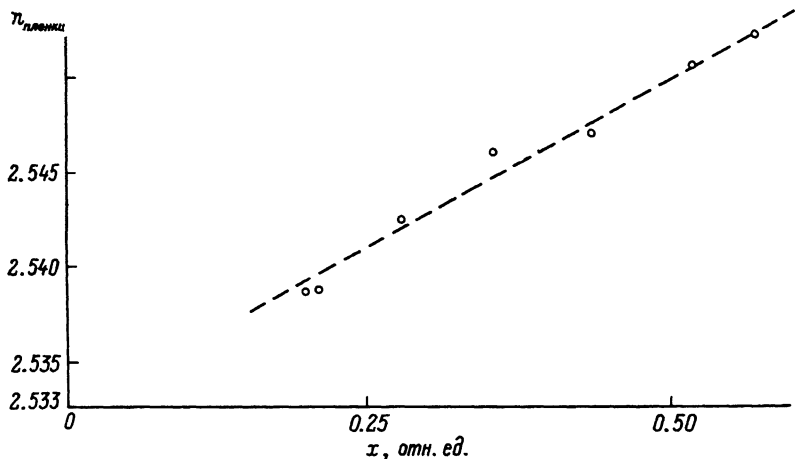


Рис. 2. Зависимость показателя преломления от состава для пленок $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$ (на подложках силиката и германата висмута).

растет от $R=5\%$ до $R=26\%$ по мере изменения x от 0.12 до 0.48, что говорит об улучшении кристаллического совершенства получаемых пленок $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$.

На рис. 1 представлены КДО для пленок таких твердых растворов с $x_1=0.48$ и $x_2=0.43$, полученных на подложках из $Bi_{12}GeO_{20}$. Зависимость показателя преломления от состава для таких пленок представлены на рис. 2. Как видно из этой зависимости, эпитаксиальные пленки $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$ с $x > 0.5$, полученные на подложках из $Bi_{12}GeO_{20}$, обладают достаточным перепадом показателя преломления и обеспечивают волноводный режим распространения света. При этом величина оптического затухания света с $\lambda=0.633$ мкм составляет $\approx 2-3$ дБ/см для пленок с $x=0.55$, что меньше величины затухания в оптических волноводах $Bi_{12}TiO_{20}$ на подложке $Bi_{12}SiO_{20}$ ≈ 5 дБ/см.

Выводы

1. Наилучшие характеристики рассматриваемых оптических волноводов могут быть достигнуты при согласовании параметров элементарной ячейки кристаллических структур гетероэпитаксиальной пленки и подложки.
2. Согласование параметров ячейки может быть обеспечено подбором состава пленки твердого раствора $Bi_{12}Ti_xSi_{1-x}O_{20}$.
3. Легирование V уменьшает показатель преломления $Bi_{12}GeO_{20}$, а легирование Ni и Ga, Ca увеличивает показатель преломления $Bi_{12}GeO_{20}$ и $Bi_{12}TiO_{20}$ соответственно.

Литература

- [1] Тада К., Кухара Ю., Татсуми М., Ямагучи Т. - Appl. Opt., 1982, v. 21, N 16, p. 2953-2959.
- [2] Наюаши Н., Фузии Ю. - IEEE J. of Quantum Electron., 1978, v. QE-14, N 11, p. 848-854.
- [3] Остроуменко А.П., Панченко Г.В., Прудкий В.П., Шмалько А.В. - УФЖ, 1983, т. 28, № 2, с. 195-200.
- [4] Валлман А.А., Браун Н., Тиен Р.К., Мартин Р.Дж. - J. Crystal Growth, 1973, v. 20, p. 251-255.
- [5] Хабаров С.Э., Липовский А.А., Абусев В.М., Леонов Е.И. Тезисы докладов III Всесоюзной конференции «Актуальные проблемы получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов и их роль в ускорении научно-технического прогресса (Москва, 24-26 августа, 1987 г.). НИИТЭХИМ М., 1987, с. 81.
- [6] Интегральная оптика / Под ред. Т. Тамира. М.: Мир, 1978. 344 с.

[7] Senulienė D., Babonas G., Leonow E.I., Muninovi I. and Orlov V.M. - Phys. Stat. Sol. (a), 1984, v. 84, N 1, p. 113-117.

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

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 17

12 сентября 1988 г.

ОБРАЗОВАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ВЫСЫХАНИИ ПЛЕНКИ БЕЛКА

Е.Г. Рапис

В настоящей работе описаны первые наблюдения упорядоченной структуры, возникающей при высыхании пленки белка различного происхождения (бычьего альбумина, куриного белка, сывороточного альбумина и глобулина, а также гемоглобина человека). При этом образуется „розетка высыхания“, которая серией закономерно расположенных трещин делится на блоки. В этих блоках возникает волновой процесс с невозбужденным, геометрическим правильно расположенным центром, наподобие клеток и их ядер, вокруг которых возникают трещины в виде спиралей.

Цель работы состояла в изучении динамики процесса высыхания белка и влияния на структуру „розетки высыхания“ некоторых воздействий. Для этого было проведено 150 опытов по следующей методике: пять равновеликих капель (пленок) белка различного вида помешались на предметное стекло и при $T=26^{\circ}\text{C}$ под световым микроскопом „Биолам“ фотографировалась и описывалась картина высыхания через каждые 5-15 минут.

Изучалась морфологическая структура „розетки высыхания“ при изменении концентрации белка. Для этого белок куриного яйца последовательно разводился физиологическим раствором или дистиллированной водой. Высушивалась пленка белка при разных температурах ($+27, +37, -1, -2^{\circ}\text{C}$ и т. д.) на разных подложках (стекло, пластмасса, несмачиваемая белком) под воздействием магнита и ультразвука, а также после смешивания раствора белка с раствором куриного ДНК и РНК, после чего проводилась фиксация структуры „розетки высыхания“ белка. Предварительно изучалась кристалло-оптическая картина отвердевшей капли 10 % раствора ДНК и РНК.

Были получены следующие результаты. Вначале по всей капле формировались от наружного периметра к центру изотропные кольца с наличием центра, где кольца отсутствовали (рис. 1). Кольца фактически образуют витки большой спирали. На 20-й минуте появлялись первые радиальные трещины, довольно быстро развивающиеся в весьма сложную структуру (рис. 2). Рождение трещин про-