



LEPM

ДЕСЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ СИМПОЗИУМ

**ФИЗИКА БЕССВИНЦОВЫХ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ И РОДСТВЕННЫХ
МАТЕРИАЛОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКО-СИСТЕМ**

(Анализ современного состояния и перспективы развития)

**PHYSICS OF LEAD-FREE PIEZOACTIVE AND
RELATED MATERIALS. MODELING OF ECO-SYSTEMS**

(Analysis of current state and prospects of development)

Сборник трудов **Том II**

27-28 ДЕКАБРЯ

2021



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования "Южный федеральный университет"
Федеральный исследовательский центр «Южный научный центр
Российской академии наук»
Научно - исследовательский институт физики Южного федерального
университета
Молодежный физико-технический научно-инновационный центр
ЮФУ–ЮНЦ РАН,
Совместный студенческий научно-исследовательский институт
физического материаловедения ЮНЦ РАН – НИИ физики ЮФУ

**ФИЗИКА БЕССВИНЦОВЫХ ПЬЕЗОАКТИВНЫХ И
РОДСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭКО-СИСТЕМ (АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ)**

Труды Десятого Международного междисциплинарного молодежного
симпозиума

г. Ростов-на-Дону, 27–28 декабря 2021 года

Том 2

Ростов-на-Дону
2021

УДК. 621.315.612
ББК 22.3
Ф50

Редакционная коллегия:

Резниченко Л.А., д.ф.-м.н., профессор, зав. отделом интеллектуальных материалов и нанотехнологий НИИ физики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Вербенко И.А., д.ф.-м.н., директор НИИ физики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Павелко А.А., к.ф.-м.н., директор молодежного физико-технического научно-инновационного центра ЮФУ–ЮНЦ РАН, зав. лабораторией диэлектрических и пьезоэлектрических измерений НИИ физики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Андрюшин К.П., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела интеллектуальных материалов и нанотехнологий НИИ физики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

«Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование экосистем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». Труды Десятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума.

Вып. 10.: в 2 т. - Ростов-на-Дону, 27–28 декабря 2021 г.

Труды симпозиума: в 2 т. – Ростов-на-Дону. Изд-во Южного федерального университета, 2021.

ISBN 978-5-907361-93-5

Т.2: 2021. – 366с.: ил.

ISBN 978-5-907361-95-9 (Т2)

Proceedings of the international symposium «Physics of Lead-Free Piezoactive and Related Materials. Modeling of eco-systems (Analysis of Current State and Prospects of Development)».

В сборнике представлены труды Десятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование экосистем (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM-2021)», посвященного 50-летию со дня основания Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета. В рамках симпозиума, проходившего в Ростове-на-Дону 27–28 декабря 2021 г., рассматриваются вопросы разработки, создания, исследования и перспектив практического применения бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов и всех интересующихся современной наукой исследователей.

Подготовка и проведение Симпозиума «LFPM-2021», а также выпуск сборника трудов осуществлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ: Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № (0852-2020-0032)/(БА30110/20-3-07ИФ).

Публикуется в авторской редакции.

100.	ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРОВОДИМОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА НЕПРОЗРАЧНЫХ ПОДЛОЖКАХ А.П. Старникова, А.В. Нестеренко, А.В. Петров, Ю.Н. Варзарев, В.В. Петров	125
101.	ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ AlGaInSbBi-InSb М.С. Столяров	127
102.	ГИГАНТСКИЙ ПЬЕЗООТКЛИК РЕЛАКСОРНОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ КЕРАМИКИ Таланов М.В., Захарченко И.Н.	132
103.	ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ ПЛЕНКИ $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ MgO (110) Ю.В. Техтелев, Р.Г. Чижов, К.М. Жидель, С.В. Кара-Мурза, А.В. Павленко, А.Г. Сильчева	133
104.	ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ХОПФА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦАХ Ю. А. Тихонов, М.А. Павленко, И. А. Лукьянчук, А. Г. Разумная	138
105.	ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НА ВЕНТИЛЬНУЮ ФОТО-ЭДС В Р-Н ПЕРЕХОДЕ Р.М. Магомадов, С-М.И. Усманов	141
106.	ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ГАЛОГЕНМЕТИЛКЕТОНОВ НА ОСНОВЕ N-МАЛЕОПИМАРИМИДА ЛЕЙЦИНА К ФУЛЛЕРЕНУ В УСЛОВИЯХ БИНГЕЛЯ А.Д. Языкбаева, А.Ф. Саттарова	144
	Секция 7. Радиоэкология. Радиационная безопасность человека и окружающей среды	147
107.	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЭД ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ Е.Ю. Антонова, Е.А. Бураева, Н.В. Маломыжева	148
108.	РАДИОНУКЛИДЫ В ОБЪЕКТАХ МИКОФЛОРЫ И ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА Е.Ю. Антонова, Е.А. Бураева, Н.В. Маломыжева	151
109.	ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ^{137}Cs В ПОЧВЕ ТРИДЦАТИКИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ РОСТОВСКОЙ АЭС В.А. Бобылев, Е.А. Бураева, А.С. Павленко, Б.П. Костырев	154
110.	ГОДОВАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННАЯ ЖИТЕЛЕМ г. НОВОЧЕРКАССКА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ А.В. Дергачева, А.С. Горбунов, Е.А. Бураева	159
111.	РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ СЛОБОДЫ РОДИОНОВО-НЕСВЕТАЙСКОЙ Д. Е. Дервяга, Е. А. Бураева, Н.В. Маломыжева	163
112.	ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ И.С. Деркачев, Р.И. Черкасов, Р.С. Горбунов	166
113.	РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ ПОС. ДОНСКОЙ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС Н.И. Дубров, Е.А. Бураева, Н.В. Маломыжева	170
114.	РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИЯХ КУРОРТНЫХ ГОРОДОВ РАЙОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ Е.С. Есин, Е.А. Бураева	174
115.	ГЕНЕРАЦИЯ И ПЕРЕНОС КОСМОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ Р.А. Земцов, В.С. Малышевский	178

ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ ПЛЕНКИ $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ НА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ MgO (110)

Ю.В. Техтелев¹, Р.Г. Чижев¹, К.М. Жидель², С.В. Кара-Мурза¹, А.В. Павленко^{2,3}, А.Г. Сильчева¹

¹Луганский государственный педагогический университет, ул. Оборонная, 2, Луганск
e-mail: s.karamurza@gmail.com

²Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета
344090, г. Ростов-на-Дону, проспект Стачки, 194, Россия

³Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук
344006, г. Ростов-на-Дону, проспект Чехова, 41, Россия

Эллипсометрическим методом исследована пленка $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-50) на монокристаллической подложке MgO (110). При использовании модели, учитывающей анизотропию пленки, определены коэффициенты преломления n_o и n_e , базовая толщина пленки, толщина поверхностного слоя и коэффициент объемного заполнения поверхностного слоя материалом пленки. Рассмотрены условия применимости изотропной модели пленки для интерпретации результатов измерений.

ELLIPSOMETRY OF A $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ FILM ON THE CRYSTALLINE MgO (110) SUBSTRATE

Yu.V. Tekhtelev¹, R.G. Chizhov¹, K.M. Zhidel², S.V. Kara-Murza¹, A.V. Pavlenko^{2,3}, A.G. Sil'cheva¹

¹Lugansk State Pedagogical University, No. 2Oboronnaya str., Lugansk, 91000, Ukraine.
e-mail: s.karamurza@gmail.com

²Research Institute of Physics, Southern Federal University
194, Stachki Ave., Rostov-on-Don, 344090, Russia

³Federal Research Center The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences
41, Chekhova street, Rostov-on-Don, 344006, Russia

An ellipsometric method was used to study an $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-50) film on a crystalline MgO (110) substrate. Using the anisotropic model of the film, the refractive indices n_o and n_e , the basic film thickness, the thickness of the surface layer and the volumetric filling factor of the surface layer with the film material are determined. The conditions for the applicability of the isotropic film model for the interpretation of the measurement results are considered.

Введение

Эллипсометрия – высокочувствительный метод изучения поверхностных свойств материалов по относительному изменению амплитуд и фаз эллиптически поляризованной электромагнитной волны вследствие взаимодействия с веществом при ее отражении от исследуемой поверхности [1]. Эти измерения характеризуются эллипсометрическими углами ψ и Δ , зависящими от азимутов поляризатора и анализатора эллипсометра. Возможность одновременной регистрации изменения не только амплитуд, но и фаз при отражении эллиптически поляризованного света обеспечивает высокую чувствительность и информативность эллипсометрического метода при исследовании поверхностных свойств вещества, в том числе и тонкопленочных покрытий [2]. В совокупности с усовершенствованными алгоритмами расчета эллипсометрический метод применим и к анизотропным поверхностям [3].

Как известно, одноосные сегнетоэлектрические кристаллы твердых растворов составов $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN-х) и наноразмерные пленки на их основе представляют интерес не только с научной точки зрения, но и в технических приложениях [4]. Ранее нами были представлены результаты оптических исследований эпитаксиальных пленок SBN-50 на кристаллической подложке Al_2O_3 (0001) [5] и SBN-61 различной толщины на кристаллических подложках MgO (001) [6]. Эти исследования показали, что естественное направление роста пленок совпадает с

направлением [001] оптической оси c ; значение показателя преломления $n_o = 2,3$, полученное из спектров оптического пропускания, согласуется с таковым для монокристаллов. Эллипсометрические измерения, в рамках модели изотропной поверхности, привели к тем же результатам.

Настоящая работа посвящена нахождению толщины и оптических параметров базового и поверхностного слоев пленки SBN-50/MgO(110), а также изучению возможности применения эллипсометрии для определения коэффициентов преломления n_o и n_e пленок ниобатов стронция-бария при использовании модели пленки, учитывающей ее анизотропию.

Объект и методы исследований

Исследовалась пленка SBN-50, выращенная методом ВЧ катодного распыления керамической мишени стехиометрического состава $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ в атмосфере кислорода на монокристаллической подложке MgO ориентации (110); время напыления составляло 60 min. Начальная температура подложки – 400 °C, давление кислорода – 0.5 Т.

Эллипсометрические измерения выполнялись с помощью отражательного многоугольного нуль-эллипсометра на длине волны гелий-неонового лазера 632,8 nm. Спектры оптического пропускания, получены с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-2450 при комнатной температуре в диапазоне длин волн 300-800 nm.

Обработка результатов измерений и их анализ

Рентгенодифракционный анализ гетероструктуры SBN-50/MgO(110) показал, что выращенная пленка является однофазной, однако в отличие от случая роста в идентичных технологических условиях на подложке MgO(001), естественное направление роста пленки [410]. В этом случае оптическая ось c SBN-50 лежит в плоскости сопряжения пленки с подложкой. Такая ориентация позволила методом спектрофотометрии при нормальном падении частично поляризованного света в различных плоскостях падения луча (рис. 1) оценить усредненную толщину пленки ($d = 420 \div 424$ nm) и дисперсию показателей преломления n_o и n_e . При этом на длине волны эллипсометрических измерений 632,8 nm $n_o \approx 2,3 \div 2,31$, а $n_e \approx 2,28 \div 2,29$.

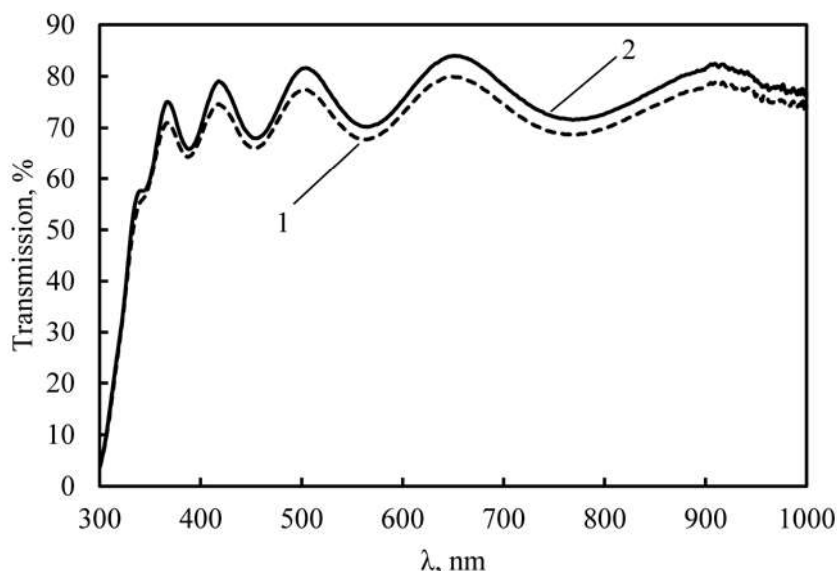


Рис. 1 – Спектры пропускания пленки SBN-50/MgO(110): 1 – спектр в плоскости падения, в которой $\vec{E} \perp c$, 2 – $\vec{E} \parallel c$.

Эллипсометрические измерения выполнялись в плоскости падения зондирующего излучения, перпендикулярной оси c . Полученные эллипсометрические углы ψ и Δ , являются

функциями оптических параметров пленки и подложки, толщины пленки и угла падения φ эллиптически поляризованного света и связаны основным уравнением эллипсометрии

$$e^{i\Delta} \operatorname{tg} \psi = \frac{R^{(p)}}{R^{(s)}}, \quad (1)$$

где $R^{(p)}$ и $R^{(s)}$ – амплитудные коэффициенты отражения электромагнитной волны для p - и s -поляризаций соответственно.

В простейшей однослойной модели воздух(1)-пленка(2)-подложка(3) коэффициенты $R^{(p)}$ и $R^{(s)}$ определяются с помощью матрицы рассеяния:

$$S = c_{13} \frac{1}{t_{12}t_{23}} \begin{pmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i\delta} & 0 \\ 0 & e^{i\delta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & r_{23} \\ r_{23} & 1 \end{pmatrix}, \quad R = \frac{s_{21}}{s_{11}}, \quad (2)$$

где $c_{13} = \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_3}$ для p -составляющей электромагнитной волны, и $c_{13} = 1$ – для s -составляющей, при этом набег фазы в пленке

$$2\delta = \frac{4\pi}{\lambda} n_2 d \cos \varphi_2. \quad (3)$$

Для p - и s -поляризаций коэффициенты Френеля r_{ik} , t_{ik} и набег фазы имеют вид:

$$\begin{aligned} & \text{p-поляризация} \\ & r_{12}^p = \frac{n_o^2 \cos \varphi - \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}{n_o^2 \cos \varphi + \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad t_{12}^p = \frac{2n_o \cos \varphi}{n_o^2 \cos \varphi + \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad 2\delta^p = \frac{4\pi}{\lambda} d \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}, \\ & r_{23}^p = \frac{n_s^2 \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi} - n_o^2 \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi}}{n_s^2 \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi} + n_o^2 \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad t_{23}^p = \frac{2n_o n_s \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}{n_o^2 \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi} + n_s^2 \sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}; \end{aligned} \quad (4)$$

s-поляризация

$$\begin{aligned} & r_{12}^s = \frac{\cos \varphi - \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi + \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad t_{12}^s = \frac{2 \cos \varphi}{\cos \varphi + \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad 2\delta^s = \frac{4\pi}{\lambda} d \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi}, \\ & r_{23}^s = \frac{\sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi} - \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi}}{\sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi} + \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi}}, \quad t_{23}^s = \frac{2\sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi}}{\sqrt{n_e^2 - \sin^2 \varphi} + \sqrt{n_s^2 - \sin^2 \varphi}}. \end{aligned} \quad (5)$$

где приняты обозначения $n_1 = 1$, $n_2 = n_o$ или n_e и $n_3 = n_s$.

Для расчета углов $\psi(\varphi)$ и $\Delta(\varphi)$ в нулевом приближении используется описанная однослойная анизотропная модель пленки с входными данными, полученными из спектров пропускания, и показателем преломления подложки $n_s = 1,7346$. Согласованность между экспериментальными и расчетными по (1)–(5) зависимостями углов $\psi(\varphi)$ и $\Delta(\varphi)$ достигается учетом наличия на свободной поверхности пленки нарушенного слоя. Полный расчет производился численными методами оптимизации значений пяти входных параметров – n_o , n_e , d , эффективного показателя преломления n_{ef} и толщины d_{dist} нарушенного слоя [7].

Результатами расчета являются: $n_o = 2,3$, $n_e = 2,28$, толщина базового слоя материала пленки $d = 417 \text{ nm}$, $d_{dist} = 10 \text{ nm}$, $n_{ef} = 2,24$; при этом полученные значения показателей преломления согласуются с таковыми для кристаллов [8]. Обращают на себя внимание параметры нарушенного слоя – его довольно большая толщина и высокий эффективный показатель преломления, обеспечивающий коэффициент объемного заполнения слоя базовым материалом [9] $q \approx 0,95$. Очевидно, здесь понятие нарушенного слоя просто теряет свой смысл; совокупность этих значений параметров поверхностного слоя можно трактовать как линейное уменьшение на расстоянии d_{dist} показателя преломления от базового ($n = 2,28 \div 2,3$) до

$n \approx 2,19$ на свободной поверхности пленки, что может быть обусловлено, по всей вероятности, ростом концентрации дефектов по мере приближения к поверхности.

В [5, 6] интерпретация результатов эллипсометрических измерений SBN(001)-пленок выполнялась в рамках изотропной модели пленки. Такой подход был основан на малости различия вкладов от n_o и n_e в $R^{(p)}$ и $R^{(s)}$ в уравнении (1). Для пленки SBN-50(410) выбором плоскости падения удалось выделить в $R^{(p)}$ и $R^{(s)}$ зависимости лишь от n_o и n_e соответственно. Поэтому вызывает интерес интерпретация полученных результатов эллипсометрических измерений пленки в изотропной модели. Оптимизация $\psi(\varphi)$ и $\Delta(\varphi)$ для такой модели привела к следующим результатам: показатель преломления материала пленки $n = 2,29$, $d = 425$ nm, $d_{dist} = 4$ nm, $n_{ef} = 2,14$ ($q = 0,93$). На рис. 2 приведены экспериментальные значения эллипсометрических углов в зависимости от угла падения эллиптически поляризованного света в рассматриваемой плоскости, перпендикулярной оптической оси, а также соответствующие расчетные зависимости $\psi(\varphi)$ и $\Delta(\varphi)$ для анизотропной и изотропной моделей пленки. Среднеквадратичные отклонения расчетных кривых от экспериментальных точек суммарно составляют 3,2 % для анизотропной модели пленки и 3,5 % – для изотропной.

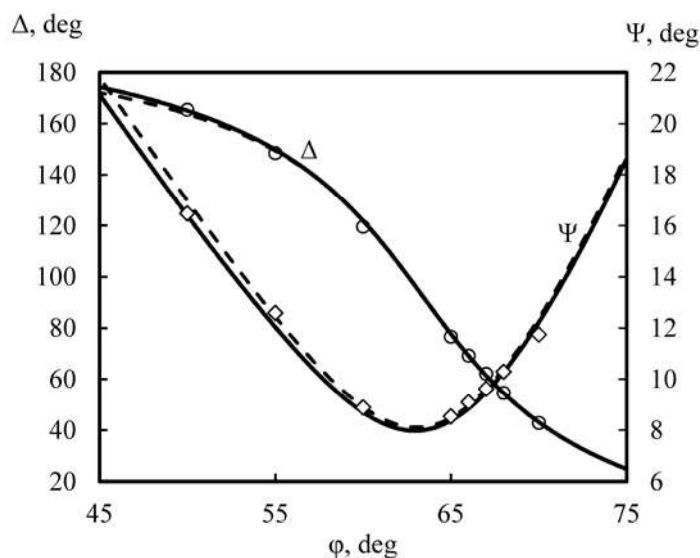


Рис. 2 – Экспериментальные и расчетные зависимости $\psi(\varphi)$ и $\Delta(\varphi)$: сплошные линии – с учетом анизотропии пленки, пунктирные – без ее учета.

Сравнение значений оптических параметров пленки, полученных решением уравнения (1) с учетом и без учета анизотропии указывает на возможность использования упрощенной изотропной модели для трактовки результатов эллипсометрических измерений с целью получения информации о некоторых из свойств исследуемой анизотропной пленки. Так, значения интегральной толщины $(d + d_{dist})$ и коэффициент объемного заполнения поверхностного слоя q практически совпадают для обеих моделей пленки SBN-50(410), значение показателя преломления оказалось близким к n_e ; лишь значение d_{dist} в изотропной модели оказалось в два раза меньшим.

Выводы

Оптическая ось c пленки состава $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Nb}_2\text{O}_6$, выращенной на кристаллической подложке $\text{MgO}(110)$, параллельна плоскости пленки (410), что позволило по спектрам оптического пропускания частично поляризованного света в различных плоскостях падения разделить дисперсию показателей преломления n_o и n_e в диапазоне длин волн 300–800 nm и оценить толщину пленки.

Показано, что для плоскости падения зондирующего излучения, перпендикулярной оси c амплитудные коэффициенты отражения p - и s -составляющих эллиптически поляризованной волны зависят, соответственно, от n_o и n_e .

Интерпретация результатов эллипсометрических измерений осуществлялась с использованием анизотропной модели пленки численными методами оптимизации по пяти параметрам. Установлено, что в исследованной пленке $n_o = 2,3$, $n_e = 2,28$, базовая толщина пленки $d = 417$ nm, толщина поверхностного слоя $d_{dist} = 10$ nm, коэффициент объемного заполнения поверхностного слоя материалом пленки $q = 0,95$.

Выполнено сравнение интерпретаций результатов эллипсометрических измерений с учетом и без учета анизотропии пленки. Показано, что для определенных целей достаточным является использование упрощенной изотропной модели.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № (0852-2020-0032)/(БА30110/20-3-07ИФ)).

Список литературы

1. Gorlyak A.N., Khamtsovsky I.A. Research of the optical characteristics of surface layers by methods of an ellipsometry and of the resonance excitation of waveguide modes // Proc. 6th Int. Conf. on Spectroscopic Ellipsometry (ICSE VI). Kyoto, Japan, 2013. P. 195.
2. Землянский В.С., Храмцовский И.А., Горляк А.Н., Степанчук А.А. Методы эллипсометрического анализа поляризационно-оптических свойств неоднородных поверхностных слоев элементов оптоэлектроники // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 105. № 2. С. 346–351.
3. Мардежов А.С., Швец В.А. К вопросу интерпретации результатов эллипсометрических измерений // Сб. Эллипсометрия: теория, методы, приложение / Под ред. А.В. Ржанова и Л.А. Ильина. Новосибирск: Наука, 1987. С. 83–86.
4. Кузьминов Ю.С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением. М.: Наука, 1982. 400 с.
5. Структура и оптические характеристики пленок ниобатов бария-стронция на подложках Al_2O_3 / А.В. Павленко [и др.] // Оптика и спектроскопия, 2019, Т. 26, В. 5 – С. 570–573.
6. Optical properties $Sr_{0,61}Ba_{0,39}Nb_2O_6$ (SBN-61) films depending on their thickness / S.V. Kara-Murza, etc. // 2020 international conference «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA-20) Kitakufhu, Japan, October, 02-2020.
7. Kip D., Aulkemeyer S., Buse K., Mersch F., Pankrath R., Kratzig E. // Phys. Stat. Sol. A. 1996. V. 154. N 2. P. K5. doi 10.1002/pssa.2211540235
8. Тихий А.А., Грицких В.А., Кара-Мурза С.В., Корчикова Н.В., Николаенко Ю.М., Фарапонов В.В., Жихарев И.В. // Опт. и спектр. 2015. Т. 119. № 2. С. 282.
9. Головань Л.А., Тимошенко В.Ю., Кашкаров П.К. // УФН. 2007. Т. 177. № 6. С. 619–638. doi 10.3367/UFNr.0177.200706b.0619; Golovan L.A., Timoshenko V.Yu., Kashkarov P.K. // Phys. Usp. 2007. V. 50. P. 595–612 doi 10.1070/PU2007v050n06ABEH006257