

Министерство образования и науки
Луганской Народной Республики
Государственное образовательное учреждение
высшего образования
Луганской Народной Республики
«Луганский государственный педагогический университет»

ВЕСТНИК



Луганского
государственного
педагогического
университета

Серия 5

Гуманитарные науки.
Технические науки

№ 2(83) • 2022

Сборник научных трудов


Луганск
2022

УДК 08.378.4(477.61)ЛГПУ:[3+62(062.552)]
ББК 95.4я43+60я5+3я5
В 38

Учредитель и издатель
ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ»

Основан в 2015 г.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
№ ПИ 000196 от 22 июня 2021 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор

Черных Л. А. — доктор психологических наук, доцент

Заместитель главного редактора

Ротерс Т. Т. — доктор педагогических наук, профессор

Дейнека И. Г. — доктор технических наук, профессор

Выпускающий редактор

Калинина Г. Г. — заведующий редакционно-издательским отделом

Редактор серии

Темникова С. В. — кандидат технических наук, доцент

Редактор рубрики «Гуманитарные науки»

Дибас О. А. — кандидат исторических наук, доцент

Редактор рубрики «Технические науки»

Калайдо А. В. — кандидат технических наук, доцент

Состав редакционной коллегии серии:

Авершина А. С.	— канд. техн. наук, доц.	Крысенко Д. С.	— д-р. ист. наук, доц.
Атоян А. И.	— д-р. филос. наук	Кудинов В. А.	— д-р. ист. наук, проф.
Бакаева Н. В.	— д-р. техн. наук, проф.	Лепя Р. Н.	— д-р. экон. наук, проф.
Барышева Е. И.	— канд. психол. наук, доц.	Логиновский С. С.	— д-р. филос. наук, доц.
Беспалова Т. В.	— канд. полит. наук, д-р. филос. наук, доц.	Максименко Е. Г.	— д-р. психол. наук
Бредихин А. В.	— д-р. ист. наук, проф.	Михайловская О. Г.	— канд. полит. наук, доц.
Васюк А. Г.	— канд. психол. наук, доц.	Мортиков В. В.	— д-р. экон. наук, проф.
Вербенко И. А.	— д-р. физ.-мат. наук	Муртузалиев С. И.	— д-р. ист. наук, проф.
Горбенко Е. Е.	— канд. физ.-мат. наук, доц.	Поцелуев С. П.	— д-р. полит. наук, доц.
Даренский В. Ю.	— д-р. филос. наук, доц.	Проскурина Е. А.	— д-р. полит. наук, проф.
Дрозд Г. Я.	— д-р. техн. наук, проф.	Резниченко Л. А.	— д-р. физ.-мат. наук, проф.
Дымарский Я. М.	— д-р. физ.-мат. наук, проф.	Сильчева А. Г.	— канд. физ.-мат. наук, доц.
Ерхов Г. П.	— д-р. ист. наук, проф.	Скороход Н. Н.	— канд. экон. наук, доц.
Заика И. П.	— канд. экон. наук, доц.	Татаренко Т. М.	— д-р. полит. наук, проф.
Звонок Н. С.	— д-р. филос. наук, доц.	Чубова И. И.	— канд. психол. наук
Кагермазова Л. Ц.	— д-р. психол. наук	Швыров В. В.	— канд. физ.-мат. наук, доц.
Капустин Д. А.	— канд. техн. наук, доц.	Шевченко М. Н.	— д-р. экон. наук, проф.
Киреева Е. И.	— канд. техн. наук, доц.	Шелюто В. М.	— д-р. филос. наук, проф.
Карпов В. В.	— канд. техн. наук, доц.	Шепко Л. Г.	— д-р. ист. наук, проф.

Вестник Луганского государственного педагогического университета :

В38 сб. науч. тр. / гл. ред. Л. А. Черных; вып. ред. Г. Г. Калинина; ред. сер. С. В. Темникова. — Луганск : Книта, 2022. — № 2(83): Серия 5. Гуманитарные науки. Технические науки. — 132 с.

Настоящий сборник содержит оригинальные материалы ученых различных отраслей наук и групп специальностей, а также результаты исследований научных учреждений и учебных заведений, обладающие научной новизной, представляющие собой результаты проводимых или завершенных изучений теоретического или научно-практического характера.

Адресуется ученым-исследователям, докторантам, аспирантам, соискателям, педагогическим работникам, студентам и всем, интересующимся проблемами гуманитарных и технических наук.

*Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий
(приказ МОН ЛНР №273-ОД от 14 апреля 2022 г.), РИНЦ.*

*Печатается по решению Ученого совета Луганского государственного
педагогического университета (протокол № 3 от 28.10.2022 г.)*

УДК 08.378.4(477.61)ЛГПУ:[3+62(062.552)]
ББК 95.4я43+60я5+3я5

© Коллектив авторов, 2022
© ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Философские науки

Даренская В. Н. Социальный идеал в русской традиционной культуре..4

Семенова О. Н. Концепция этической экономики П. Козловски....13

Исторические науки и археология

Дибас О. А., Милокост Л. С. Российско-польские отношения в 1991–1999 гг.21

Ковшарь М. К. Переход от насильственной к ненасильственной фазе внутривосполитического конфликта в Северной Ирландии (1969–1998 гг.) : предпосылки и процесс.....29

Новодран Е. М. Торгово-экономическое сотрудничество Российской Федерации и Сирийской Арабской Республики в 1993–2011 гг.37

Хижняк А. В. Новая ближневосточная политика России: возвращение Москвы в «большую игру» в регионе.....45

Политология

Литвин Л. А. Основные цели внешней политики Франции в период Великой французской революции.....52

Психологические науки

Марусенко Е. А., Ковалева А. В., Выдрина Л. А. Модусы экологического сознания в разных возрастных группах.....60

Бернацкая Л. В. Игротерапия как метод воспитательной практики в коррекции агрессивности и агрессивного поведения дошкольников....67

Бугакова Т. А. Ценностно-смысловые детерминанты брачных отношений в современных семьях.....74

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Физико-математические науки

Дюбо Е. Н. Особенности решения задач линейного программирования на активном множестве.....79

Нечаев Д. В., Тхетелев Ю. В. Особенности калибровки узлов механического дилатометра.....84

Черняков В. Е., Тхетелев Ю. В., Кара-Мурза С. В., Тихий А. А. Методы решения обратной задачи эллипсомерии.....90

Технические науки

Швыров В. В., Гвоздюкова С. Н. Категории рисков, связанных с киберпространством: характер убытков и бизнес-сектора.....96

Корнеева А. Н., Гузенко А. Л. Оценка негативного воздействия прилегающей транспортной инфраструктуры на территорию университета.....105

Экономические науки

Скороход Н. Н. Макроэкономическое равновесие в проекции бюджетной и денежно-кредитной политики.....111

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....122

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ124

УДК 53.08:535.016

Черняков Валентин Евгеньевич,
студент 2 курса магистратуры
ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ»
nitnelav99@yandex.ru

Техтелев Юрий Владимирович,
зав. лабораторией кафедры
физики и методики преподавания физики
ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ»
tehtelev@gmail.com

Кара-Мурза Светлана Витольдовна,
канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры физики и
методики преподавания физики
ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ»
skaramurza@gmail.com

Тихий Александр Александрович,
канд. физ.-мат. наук,
докторант кафедры химии и биохимии
ГОУ ВО ЛНР «ЛГПУ»
ea0000ffff@mail.ru

Методы решения обратной задачи эллипсометрии

В статье рассматриваются методы обработки результатов эллипсометрических измерений для исследований тонкослойных поглощающих и прозрачных покрытий различной структуры. Предложен модифицированный метод Малена-Ведама для определения оптических параметров поглощающих пленок. Для прозрачных пленок на прозрачных подложках предлагаются оптимизационные методы, основанные на минимизации целевой функции.

Ключевые слова: эллипсометрия, обратная задача, фаза, коэффициент пропускания.

Эллипсометрия – высокочувствительный метод оптических исследований поверхностей жидкостей и твердых тел.

При отражении эллиптически поляризованного света от поверхности твердого тела вследствие взаимодействия электромагнитного излучения с веществом параметры эллипса поляризации отраженной волны изменяются. Эти изменения характеризуются эллипсометрическими углами ψ и Δ , причем угол ψ определяет изменения амплитуд s - и p -составляющих электромагнитной волны при ее отражении, а угол Δ – разность изменений фаз этих составляющих. Углы ψ и Δ , являющиеся функциями длины волны λ и угла падения ϕ зондирующего излучения, толщин поверхностных слоев d_i ,

их показателей преломления n_i и коэффициентов экстинкции κ , оптических свойств подложки, связаны с амплитудными коэффициентами отражения $R^{(s)}$ и $R^{(p)}$ s - и p -поляризованных электромагнитных волн основным уравнением эллипсометрии

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

В эллипсометрии возможна постановка двух задач – прямой и обратной (основной). Суть прямой задачи заключается в нахождении углов ψ и Δ по известным свойствам поверхности. Обратная задача заключается в восстановлении свойств исследуемой поверхности по значениям эллипсометрических углов, полученным экспериментально.

В статье будут рассмотрены несколько алгоритмов решения обратной задачи многоугловой отражательной эллипсометрии [1–2].

Первый метод – метод Малина-Ведама для покрытий с поглощением. Обратная задача эллипсометрии решается для модели однородного изотропного слоя, в общем случае поглощающего материала, нанесенного на однородное изотропное полупространство материала с другими свойствами. В этом случае коэффициенты отражения в (1) определяются соотношениями:

$$R^{(p,s)} = \frac{r_{12}^{(p,s)} + r_{23}^{(p,s)} e^{-2i\delta}}{1 + r_{12}^{(p,s)} r_{23}^{(p,s)} e^{-2i\delta}}, \quad (2)$$

где $r_{12}^{(p,s)}$ и $r_{23}^{(p,s)}$ френелевские амплитудные коэффициенты отражения p - и s -составляющих волны соответственно на границах воздух-пленка (12) и пленка-подложка (23). Множитель $e^{-2i\delta}$ определяет удвоенную фазовую толщину слоя

$$2\delta = \frac{4\pi}{\lambda} N_2 d_2 \cos \varphi_2, \quad N_2 = n_2 - i\kappa_2. \quad (3)$$

При этом уравнение (1) можно рассматривать как биквадратное относительно неизвестной величины $X = e^{-2i\delta}$. Дальнейшее решение выполняется по следующей схеме [1]:

1) для пары значений $n_2 = n_i$ и $\kappa_2 = \kappa_i$ из массива возможных ищутся решения $X_i = \rho_i e^{i\delta}$;

2) отбираются те из решений, которые обеспечивают затухание волны в материале пленки и для которых $\rho \leq 1$;

3) на диаграмме $n - k$ отражаются найденные решения, образующие номограмму, каждой точке которой соответствует свое значение толщины пленки;

4) процедура повторяется для других углов падения зондирующего излучения;

5) точка пересечения номограмм определяет истинные значения n_2 и k_2 ;

6) в соответствии с (3) определяется толщина пленки d_2 .

Разработанный в [1-2] алгоритм отличается от метода Малина-Ведама, основанного на отборе корней, обеспечивающих выполнение условия $\text{Im}\{d_2\} = 0$, большей точностью и возможностью определения порядка интерференции в том случае, когда $\text{Re}\{2\delta\}$ в (3) превышает половину длины волны.

Описанный способ решения обратной задачи эллипсометрии не позволяет определить реальную толщину прозрачных пленок, если их фазовая толщина превышает половину длины волны зондирующего излучения.

Второй метод – метод минимизации целевых функций. В большинстве случаев целесообразно применение оптимизационных методов, в основе которых лежит процедура минимизации определенным образом выбранной целевой функции

$$G(\Psi_i^{(e)}, \Delta_i^{(e)}, \Psi_i^{(c)}, \Delta_i^{(c)}, i = 1, 2, \dots, m).$$

Здесь индексами (e) и (c) обозначены экспериментальные и расчетные для заданных n , $\hat{e}$ и $\hat{d}$ значения эллипсометрических углов, а m – число измерений при различных углах падения зондирующего излучения. Простейшая целевая функция имеет вид:

$$G = \sum_{i=1}^m \left(\frac{(\Psi_i^{(e)} - \Psi_i^{(c)})^2}{(\Psi_i^{(e)})^2} + \frac{(\Delta_i^{(e)} - \Delta_i^{(c)})^2}{(\Delta_i^{(e)})^2} \right). \quad (4)$$

Функция G вида (4) имеет множество локальных минимумов, причем в случае слабо поглощающих пленок эти минимумы практически неразличимы, а в случае сильно поглощающих – размыты настолько, что идентификация решения становится невозможной. Нами предложено включить в целевую функцию результаты измерений коэффициента пропускания T на длине волны эллипсометрических измерений [1-2]. Такая расширенная целевая функция имеет вид:

$$G' = m \frac{(T^{(e)} - T^{(c)})^2}{(T^{(e)})^2} + \sum_{i=1}^m \left(\frac{(\Psi_i^{(e)} - \Psi_i^{(c)})^2}{(\Psi_i^{(e)})^2} + \frac{(\Delta_i^{(e)} - \Delta_i^{(c)})^2}{(\Delta_i^{(e)})^2} \right). \quad (5)$$

Функция G' также характеризуется набором локальных минимумов, почти неразличимых для слабо поглощающих пленок. Однако совпадение минимумов для целевых функций G и G' позволяет судить о значениях искомых параметров.

Несмотря на громоздкость и трудоемкость вычислений, оптимизационные методы решения обратной задачи эллипсометрии являются практически единственным способом определения оптических параметров многослойных структур. Применение элементов метода градиентного спуска позволяет значительно ускорить нахождение минимума функций G путем уменьшения числа итераций вычисления.

Если электромагнитная волна падает из 0-вой среды на структуру, состоящую из N слоев, и выходит в $(N+1)$ -ую среду, то коэффициенты $R^{(p)}$ и $R^{(s)}$ в (1) определяются как компоненты матрицы рассеяния известными выражениями

$$R^{(p,s)} = \frac{S_{21}^{(p,s)}}{S_{11}^{(p,s)}} \quad \hat{S} = \left(\prod_{k=0}^{N-1} \hat{W}_{k,k+1} \hat{F}_{k+1} \right) \hat{W}_{N,N+1} \quad (6)$$

Следует отметить, что оптимизационные методы могут быть применены и в том случае, когда неизвестно и число слоев на поверхности.

Третий метод – метод решения обратной задачи эллипсометрии прозрачных пленок на прозрачных подложках. В основе метода лежат особенности зависимости углов ψ и Δ от угла падения φ : при $\varphi = \varphi_0$ (φ_0 – главный угол или угол псевдо-Брюстера) наблюдается минимум угла ψ и точка перегиба угла

Δ , причем $\Delta \varphi_0 = \pm \pi/2$ (рис. 1). Поэтому, как следует из (1), при $\varphi = \varphi_0$

$$\operatorname{Re} \left\{ \frac{R^{(p)}(\varphi_0)}{R^{(s)}(\varphi_0)} \right\} = 0. \quad (7)$$

Модель поверхности рассматривается как однородный изотропный слой материала с показателем преломления n_2 толщиной d на поверхности полубесконечного однородного изотропного материала с показателем преломления n_3 . В этом случае обратная задача эллипсометрии сводится к решению квадратного уравнения относительно величины

$$X = \cos \alpha, \quad \alpha = \frac{4\pi}{\lambda} d \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi_0} + 2\pi m_0, \quad m_0 = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

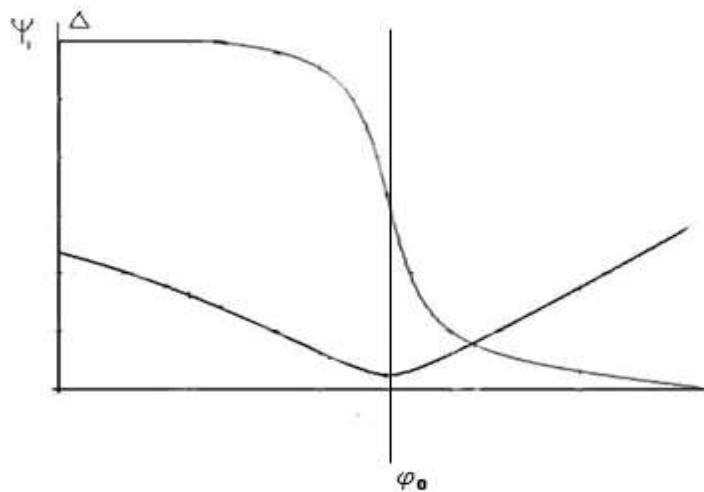


Рис. 1. Характерная зависимость углов ψ и Δ от угла падения φ

Корням уравнения $|X| \leq 1$ соответствуют значения аргумента

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arccos X + 2\pi m_0, \text{ если } \operatorname{Im} \left\{ \frac{R^{(p)}(\varphi_0)}{E^{(s)}(\varphi_0)} \right\} = \frac{\pi}{2}, \text{ и} \\ \alpha = -\arccos X + 2\pi(m_0 + 1), \text{ если } \operatorname{Im} \left\{ \frac{R^{(p)}(\varphi_0)}{E^{(s)}(\varphi_0)} \right\} = \frac{3\pi}{2}, \quad (m_0 = 0, 1, 2, \dots). \end{array} \right. \quad (9)$$

Если фазовая толщина покрытия $d\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi_0} < \frac{\lambda}{2}$, то в выражениях (8)-(9) порядок интерференции $m_0 = 0$. Тогда в нулевом приближении назначается значение $n_{20} = \operatorname{tg} \varphi_0$, решается уравнение (7) и находится соответствующее значение $d^{(0)}$. Используя эти значения n_{20} и $d^{(0)}$ в качестве входных данных решается прямая задача эллипсометрии. Рассчитанные значения углов ψ_c и Δ_c для различных углов падения сравниваются с их экспериментальными значениями. Изменяя величину показателя преломления пленки, методом последовательных приближений определяются n_2 и d , обеспечивающие минимальные среднеквадратичные отклонения расчетных и экспериментальных значений эллипсометрических углов при различных углах падения зондирующего излучения.

Если $d\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi_0} > \frac{\lambda}{2}$, то возникает необходимость определения порядка интерференции m_0 . Эта задача решается привлечением результатов спектральных измерений оптического пропускания (отражения). Дальнейшее решение обратной задачи осуществляется в соответствии с вышеописанным алгоритмом.

В заключение можно отметить, что все из предложенных методов решения обратной задачи эллипсометрии доказали свою применимость для исследования различных пленок на различных подложках [3-4].

Список литературы

1. Тихий, А. А. Особенности интерпретации результатов эллипсометрических измерений / А. А. Тихий [и др.] // Оптика и спектроскопия – 2012. – Т. 112. – № 2. – С. 329–334.
2. Тихий, А. А. Эллипсометрический метод определения оптических параметров тонкопленочных покрытий со сложной структурой / А. А. Тихий [и др.] // Оптика и спектроскопия – 2015. – Т. 119. – № 2. – С. 282–286.
3. Tikhii, A. A. Optical conductivity of LSMO films on Al_2O_3 substrates / A. A. Tikhii, etc. // Physica Status Solidi C. – 2013. – V. 10, No. 4. – P. 673–676.
4. Кара-Мурза, С. В. Структура и оптические характеристики пленок ниобатов стронция-бария $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Nb}_2\text{O}_6$ на кристаллических подложках Al_2O_3 / С.В. Кара-Мурза [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2019. – Т. 126, В. 5. – С. 570–573.

**Chernyakov V. E.,
Tehtelev Yu. V.,
Kara-Murza S. V.,
Tikhii A. A.**

Methods for solving the inverse problem of ellipsometry

The article discusses methods for processing the results of ellipsometric measurements for studying thin-layer absorbing and transparent coatings of various structures. A modified Malen-Wedam method for determining the optical parameters of absorbing films is proposed. For transparent films on transparent substrates, optimization methods based on minimizing the objective function are proposed.

Key words: *ellipsometry, inverse problem, phase, transmittance.*