



ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ РОГОВИЦЫ ГЛАЗА

В.В. Яцышен, Р.В. Щелоков

Среди многих методов диагностики и исследования биологических и органических сред одним из наиболее перспективных является эллипсометрия. Она, в свою очередь, требует развития оптических моделей исследуемых объектов и процессов, отвечающих требованиям более простого решения обратной задачи. Возможность сочетания эллипсометрии и линейной и нелинейной оптики ставит перед нами проблему интерпретации данного эксперимента и открывает широкий потенциал для выявления новых закономерностей и расширения спектра использования эллипсометрии. В то же время развитие данного направления и в целом медицинской и биохимической физики в нашем регионе дает ему множество плюсов:

- привлечение инвестиций извне для развития столь востребованного направления медицинской диагностики;
- создание центров по разработке и созданию диагностической аппаратуры, где будет задействовано множество специалистов, выпускаемых ВолГУ, ВолГМУ, ВолГТУ;
- новый уровень образования и науки в регионе, где готовятся специалисты в области смежных наук, что является редкостью во всем мире;
- повышение уровня здравоохранения и здоровья населения;
- хорошая реклама для области как региона, внедряющего наукоемкие тех-

нологии экспресс-диагностики здоровья населения, что находится в духе национального проекта «Здоровье».

И это малая доля того, чем обусловлена актуальность данной темы.

Целью данной работы является построение оптических моделей линейной и нелинейной эллипсометрии многослойных рассеивающих сред типа роговицы глаза для проведения экспресс-диагностики такого объекта.

Линейная эллипсометрия

С учетом особенностей строения роговицы глаза нами построена адекватная модель, позволяющая использовать ее для задач эллипсометрии¹, в частности, для определения концентрации форменных элементов роговицы. Модель представляет собой трехслойную систему (см. рис. 1).

Эффективный показатель преломления описывается выражением (1) для первого и третьего слоя, которые имеют клеточную структуру, и (2) для второго слоя, который состоит из коллагеновых фибрилл, расположенных в базовом веществе².

$$\tilde{n}_{1,3} = \sqrt{\varepsilon_1 + c \frac{3(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1}}, \quad (1)$$

$$\tilde{n}_2 = \sqrt{\varepsilon_1 + c \frac{2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)\varepsilon_1}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1}}, \quad (2)$$

где ε_1 и ε_2 – диэлектрические проницаемости жидкой и твердой фазы соответственно;

c – объемная концентрация твердой фазы.

Нами была создана экспериментальная установка для определения эффективного показателя преломления слоев модели роговицы (см. рис. 1). На основе проведенного эксперимента определены значения эффективного показателя преломления для $\lambda = 0,630$ мкм³:

- первый слой – $\tilde{n} = 1,370 + i \times 9,01 \times 10^{-5}$;
- второй слой – $\tilde{n} = 1,366 + i \times 4,77 \times 10^{-5}$;
- третий слой – $\tilde{n} = 1,684 + i \times 2,67 \times 10^{-5}$.

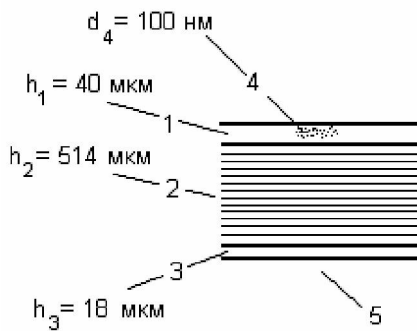


Рис. 1. Модель роговицы глаза:

- h_1, h_2, h_3 – толщины слоев;
- d_4 – диаметр вирионов герпеса;
- 1 – передний эпителий; 2 – боуменова оболочка и строма; 3 – десцеметова оболочка и эндотелий;
- 4 – вирионы герпеса;
- 5 – влага передней камеры глаза

С учетом полученных результатов были рассчитаны эллипсометрические параметры для различных условий, таких как изменение концентрации эпителиальных клеток и коллагеновых волокон (см. рис. 2–3)⁴. Выбранный диапазон изменений параметров отвечает различным видам дистрофий и может их идентифицировать.

Эллипсометрические параметры ψ и Δ характеризуют относительные изменения амплитуды и фазы, испытываемые при отражении или прохождении p - и s -компонентами колебаний электрического вектора световой волны.

Из полученных результатов (см. рис. 2–3) видно, что эллипсометрический метод обладает высокой чувствительностью к малей-

шим флуктуациям оптических параметров (изменения менее 1 %, ограничения накладываются возможностью эллипсометра), что является очень важным при диагностике состояния роговицы глаза. В свою очередь, скорость снятия одного измерения может достигать микросекунд, что позволяет с помощью этого метода проследить динамику изменения оптических параметров представленной модели, описывающей роговицу.

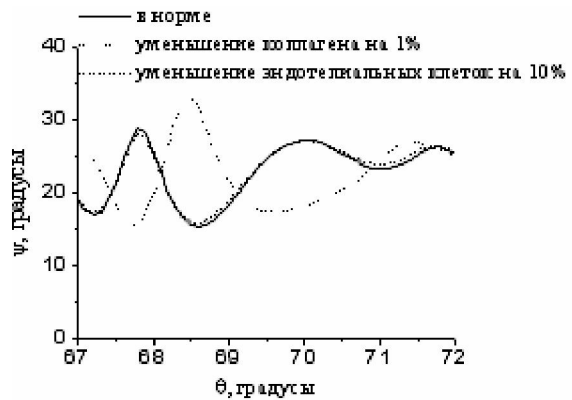


Рис. 2. Зависимость эллипсометрического угла ψ от угла падения ($\lambda = 0,63$ мкм) при различных изменениях роговицы

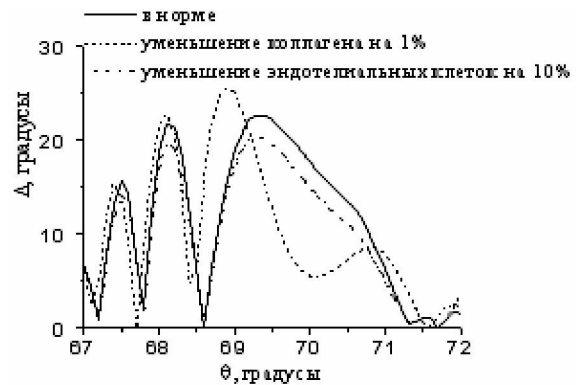


Рис. 3. Зависимость эллипсометрического угла Δ от угла падения ($\lambda = 0,63$ мкм) при различных изменениях роговицы

Вместе с этим был рассмотрен случай герпетического поверхностного (эпителиального) поражения роговицы глаза (см. рис. 1). Эффективный показатель преломления с учетом вируса рассчитывался выражением (1)⁵.

На основе эксперимента были получены оптические параметры выделений, содержащих вирионы из пораженной герпесом ткани (для $\lambda = 0,63$ мкм, $\tilde{n}_4 = 1,415 + i \times 3,54 \times 10^{-3}$)⁶. С использованием полу-

ченных параметров рассчитаны зависимости эллипсометрических углов от угла падения и от концентрации вируса в ткани (см. рис. 4–5). Из угловой зависимости установлено, что наиболее удобной областью углов падения для диагностики является 67–72 °⁷.

Можно довольно точно определить стадию заболевания, сравнивая значения для нескольких углов (см. рис. 4–5). Одновременно эллипсометрия позволяет проследить динамику заболевания, что облегчает выбор метода лечения.

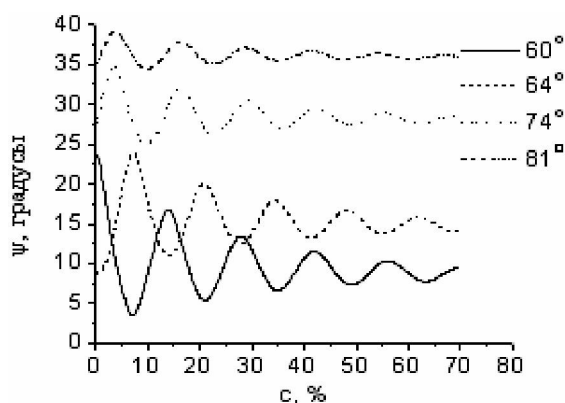


Рис. 4. Зависимость эллипсометрического угла ψ от концентрации вируса ткани ($\lambda = 0,630$ мкм) при разных углах падения

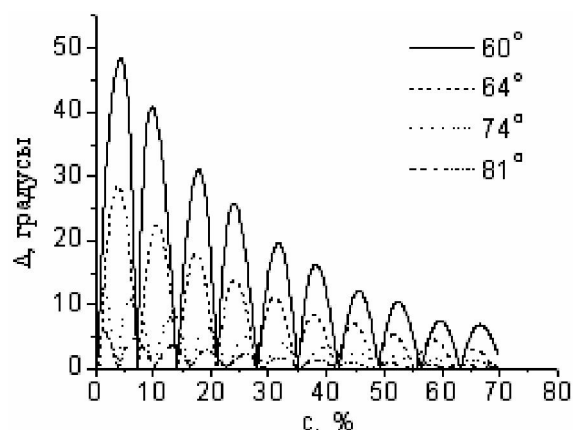


Рис. 5. Зависимость эллипсометрического угла Δ от концентрации вируса в ткани ($\lambda = 0,630$ мкм) при разных углах падения

На основе строения органических соединений типа коллагена рассчитана зависимость силы осциллятора от длины волны в приближении кластерной модели⁸ как для отдельных аминокислот, так и для часто встречающихся триплетов тропоколлагена первого типа и поперечной

сшивки, образованной из остатков лизина⁹. Установлено, что наибольший вклад в оптические характеристики желатина дают Ala, Arg, Asp, Glu, Gly, Нур и Pro. Также рассмотрена оптическая активность и установлено, что наибольший вклад в оптическое вращение в видимой области дает пролин, а в УФ – аланин и глутаминовая кислота.

Для удельного оптического вращения используем¹⁰:

$$\alpha_D = \frac{7200 N_A \omega}{c^2 M} \beta, \quad (3)$$

где N_A – число Авогадро;
 ω – частота падающего излучения;
 c – концентрация;
 M – молекулярная масса;
 β – вращательная поляризуемость. Вращательная поляризуемость равна¹¹:

$$\beta = \frac{2c}{3\hbar} \sum_N \frac{R_{N0}}{\omega_{N0}^2 - \omega^2 + i\omega\Gamma_{N0}}. \quad (4)$$

В общем случае вращательная поляризуемость является тензором, а для изотропного однородного вещества $\beta = 1/3\text{Tr}[\beta_{ij}]$ ¹².

Для желатина с вышепредложенным аминокислотным составом в отсутствие поперечных связей удельное вращение, рассчитанное по зависимости (3), в случае однородности и изотропности составило $\alpha_D(530 \text{ нм}) = -5,03$ град/см, $\alpha_D(1060 \text{ нм}) = 1,33$ град/см. Можно учитывать и влияние поперечной сшивки, для нее удельное вращение равно $\alpha_D(530 \text{ нм}) = -1,53$ град/см, $\alpha_D(1060 \text{ нм}) = -0,39$ град/см.

Для поляризуемости поглощающей среды используем¹³:

$$\alpha = \frac{2}{3\hbar} \sum_N \frac{D_{N0}}{\omega_{N0}^2 - \omega^2 + i\omega\Gamma_{N0}}, \quad (5)$$

где $D_{N0} = |\langle 0 | \mathbf{p} | N \rangle|^2$ – сила диполя.

В общем случае поляризуемость является тензором. Для однородной изотропной среды $\alpha = 1/3\text{Tr}[\alpha_{ij}]$. Были произведены расчеты диагональных элементов тен-

зора поляризуемости аминокислот желатина (см. табл. 1) в приближении кластерной модели ¹⁴.

Далее в приближении кластерной модели ¹⁵ был рассчитан показатель преломления для предложенной модели желатины ($n(1060 \text{ нм}) = 1,2292$, $n(530 \text{ нм}) = 1,2325$) ¹⁶.

По этим данным рассчитаны эллипсометрические зависимости прошедшего через систему стекло – желатин – стекло света с учетом оптической активности (см. рис. 6–7), по которым видно, насколько сильно она влияет, особенно при больших углах.

Можно сказать, что при эллипсометрической диагностике биологических сред необходимо учитывать влияние пространственной дисперсии на окончательный результат.

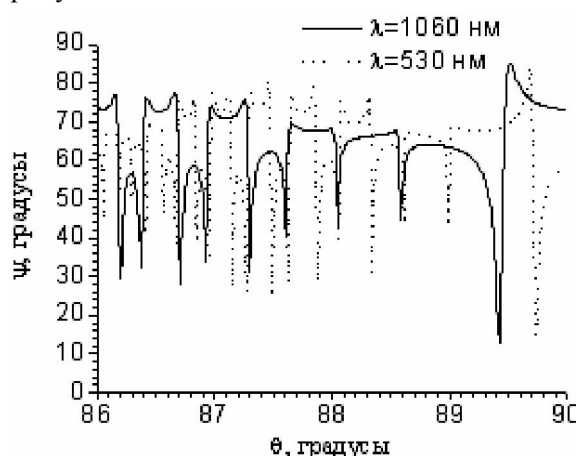


Рис. 6. Зависимость эллипсометрического угла ψ от угла падения θ

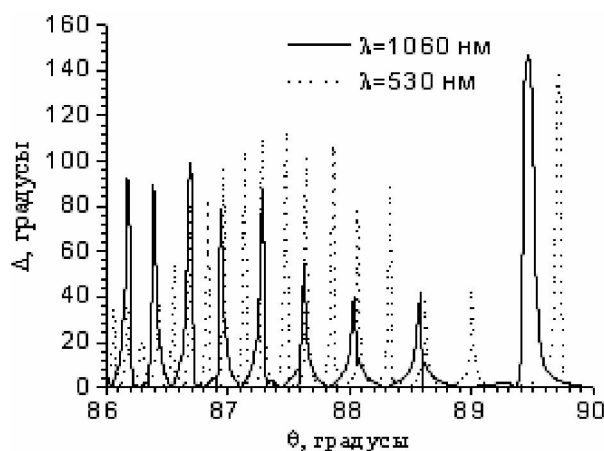


Рис. 7. Зависимость эллипсометрического угла Δ от угла падения θ

Нами была разработана и создана экспериментальная установка по измерению эллипсометрических параметров органических соединений. На ней проведен эксперимент по определению эллипсометрических параметров оптической системы с пищевым желатином [стекло($d_{\text{ст}} = 1 \text{ мм}$) – желатин($d_{\text{ж}} = 0,1 \text{ мм}$) – стекло($d_{\text{ст}} = 1 \text{ мм}$)] ¹⁷. Измерения проводились при углах падения $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ в спектральном диапазоне от 300 до 700 нм.

Теоретические значения эллипсометрического угла ψ находятся в пределах погрешности для 20° и 30° , а для 10° отличается на $9,54^\circ$ (см. рис. 8). Что касается значений эллипсометрического угла D , то различия между теорией и экспериментом составляют более 117° (см. рис. 9). Такие различия эллипсометрических параметров

Таблица 1

Расчеты диагональных элементов тензора поляризуемости аминокислот желатина

Аминокислота	α_{xx} , Бор ³ (1060нм/530нм)	α_{yy} , Бор ³ (1060нм/530нм)	α_{zz} , Бор ³ (1060нм/530нм)
Ala	25,9210/26,2942	15,1198/15,2894	20,9191/21,0971
Arg	51,3189/51,9854	51,4159/52,0222	34,4218/34,7765
Asp	23,0344/23,3928	29,8637/30,3277	27,1344/27,4659
Glu	28,1754/28,5624	34,4306/34,9845	33,1618/33,5145
Gly	20,8765/21,1985	15,3954/15,5335	9,97551/10,0820
Нур	44,6108/45,2937	28,0156/28,3082	30,7303/31,0067
Pro	37,2337/38,0979	32,8994/33,3730	23,4051/23,7147
Сшивка	87,2522/88,4695	83,8749/84,8114	68,4942/69,0497

(см. рис. 8–9) обусловлены тем, что при вычислениях использовалась идеализированная модель желатина с определенным набором аминокислот, в то время как в реальном пищевом желатине могут встречаться отдельные фракции эластина. Целью в данной части работы являлась разработка экспериментальной установки, адаптированной для измерений эллипсометрических параметров органических соединений¹⁸.

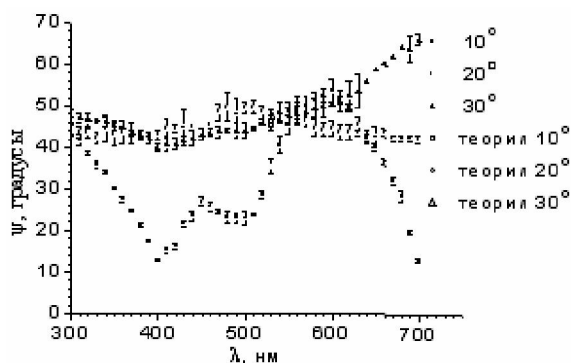


Рис. 8. Зависимость эллипсометрического угла ψ от длины волны λ

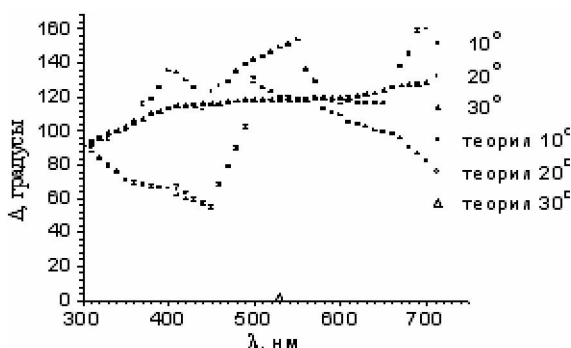


Рис. 9. Зависимость эллипсометрического угла Δ от длины волны λ

Далее в рамках данной работы нами было рассмотрено совместное использование метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и эллипсометрии при диагностике поверхностных герпетических поражений¹⁹.

Рассчитана зависимость энергетического коэффициента отражения для p - и s -поляризации от концентрации вируса в ткани (см. рис. 10). Чтобы добиться максимальной чувствительности, необходимо, чтобы угол падения был равен углу, который соответствует случаю полного внутреннего отра-

жения для системы без исследуемого образца. Эллипсометрическим углом θ будет являться величина $\arctg(B_p)$. Этот метод позволяет проводить диагностику поверхностного слоя, не затрагивая более глубокие слои.

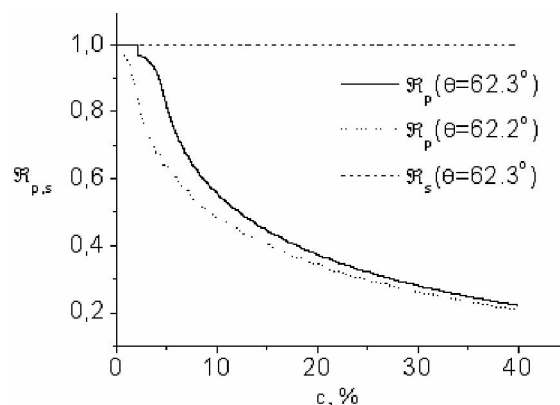


Рис. 10. Зависимость энергетических коэффициентов отражения $R_{p,s}$ от концентрации вирионов герпеса c

Нелинейная эллипсометрия

Нелинейная спектроскопия – это более тонкий механизм диагностики веществ.

Были рассмотрены спектры комбинационного рассеяния и спектры силы оптического вращения для линий КР²⁰. В области от 500–1 500 см^{-1} доминируют полосы Pro, в области 1 961,3 см^{-1} доминирует полоса Glu и в области 3 500–4 500 см^{-1} доминирует His. Оказалось, что наибольший вклад в спектры КР дают His и Glu, а в оптическое вращение – Pro, причем сила вращения меньше на один-два порядка, чем при линейном рассмотрении.

Также в данной работе рассмотрена генерация второй гармоники при отражении от полубесконечного слоя желатина.

Нелинейные восприимчивости для желатина в приближении кластерной модели были рассчитаны для базиса STO-6G. Для изотропной однородной среды ненулевыми элементами тензора восприимчивости являются $\chi_{xyz} = \chi_{yzx} = \chi_{zxy}$, для которых получились следующие значения ($\lambda = 1060$ нм): $\chi_{xyz}(\lambda/2) = \chi_{yzx}(\lambda/2) = \chi_{zxy}(\lambda/2) = 1,0475 \text{ S } 10^{-13} \text{ см/В}$. Видно, что нелинейность очень мала, и поэтому требуются большие поля для генерации. Для полей $\sim 10^5$ В/см получена зави-

симось коэффициента передачи от угла падения (см. рис. 11), максимум которого приходится для s -компоненты эллиптически поляризованного падающего света на угол падения равный 53° с величиной $3,2 \cdot 10^{-15}$.

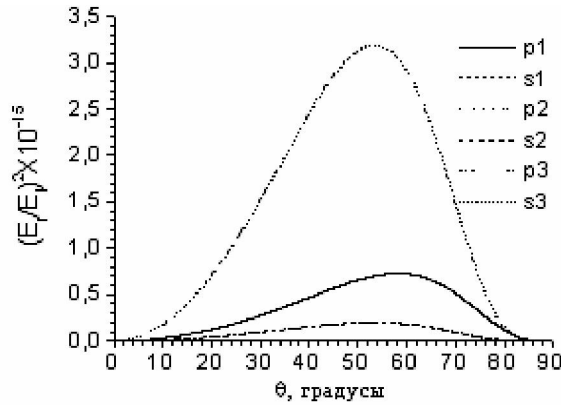


Рис. 11. Зависимость коэффициента передачи от угла падения для случаев: $p1 - \delta = 0, E_{p1} = 10^5$; $s1 - \delta = 0, E_{s1} = 10^5$; $p2 - \delta = \pi/2, E_{p2} = 10^5$; $s2 - \delta = \pi/2, E_{s2} = 10^5$; $p3 - \delta = \pi/2, E_{p3} = 2 \cdot 10^5$; $s3 - \delta = \pi/2, E_{s3} = 10^5$

Таким образом, данная среда обладает малой нелинейностью, которую можно не учитывать при воздействии больших полей, так как произойдет разрушение белка скорее, чем проявится генерация второй гармоники. Также для данного случая рассмотрены эллипсометрические зависимости (см. рис. 12), из которых видно, что форма эллипса поляризации не меняется, а происходит его поворот.

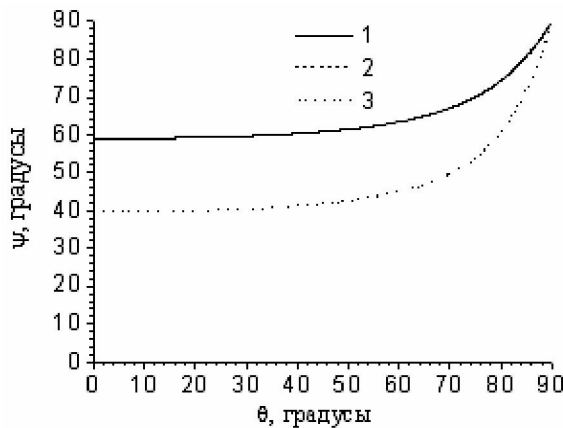


Рис. 12. Зависимость эллипсометрического угла ψ от угла падения q для случаев: $1 - \delta = 0, E_{p1} = 10^5, E_{s1} = 10^5$; $2 - \delta = \pi/2, E_{p2} = 10^5, E_{s2} = 10^5$; $3 - \delta = \pi/2, E_{p3} = 2 \cdot 10^5, E_{s3} = 10^5$

Итак, в данной работе получен ряд новых и важных результатов:

1. Предложена оптическая модель роговицы глаза, представляющая собой трехслойную систему с экспериментально определенными оптическими параметрами отдельных ее компонентов (комплексные показатели преломления твердой фазы роговицы, эффективные комплексные показатели преломления для отдельных ее слоев). С использованием этой модели и полученных оптических параметров роговицы впервые получены отражательные эллипсометрические параметры многослойной рассеивающей среды – роговицы глаза для различных концентраций твердой фазы в отдельных ее слоях.

2. На основании эксперимента были впервые получены оптические параметры выделений из пораженной герпесом ткани (эффективный комплексный показатель преломления). По этим данным рассчитаны эллипсометрические углы для случая поверхностного герпетического поражения роговицы, из которых видно, что наиболее удобной областью углов падения для экспресс-диагностики является $67-72^\circ$.

3. Проведен квантово-механический расчет оптических параметров органических соединений типа коллагена в приближении кластерной модели. Рассчитана сила вращения для аминокислот коллагена, на основании чего рассмотрена оптическая активность для предложенной модели желатина. Установлено, что наибольший вклад в оптическое вращение в видимой области дает пролин. Для желатина впервые в рамках данной модели рассчитаны линейные восприимчивости и показатель преломления, а по ним пропускательные эллипсометрические параметры (ψ и Δ в зависимости от угла падения) с учетом оптической активности, из которых следует необходимость учета пространственной дисперсии (в линейном по волновому вектору приближении) для таких объектов.

4. Разработана экспериментальная установка, адаптированная для измерений эллипсометрических параметров органи-

ческих соединений, и проведен эксперимент по определению эллипсометрических параметров желатина. Получены эллипсометрические параметры ψ и Δ в спектральном диапазоне от 400 до 700 нм. Для эллипсометрического угла ψ получено хорошее совпадение с теоретическими расчетами.

5. Для случая поверхностного (эпителиального) герпетического поражения роговицы глаза впервые рассчитаны спектры НПВО. Найдено условие максимальной чувствительности данного метода – угол падения должен быть равен углу полного внутреннего отражения.

6. Рассчитаны интенсивность линий комбинационного рассеяния света и соответствующие им силы оптического вращения для аминокислот коллагена. Установлено, что наибольший вклад в спектры дают гистидин и глутаминовая кислота, а в оптическое вращение – пролин.

7. Для случая генерации второй гармоники при отражении от полубесконечного слоя желатина впервые рассчитаны нелинейная восприимчивость и эллипсометрические параметры. Установлено, что данная среда обладает малой нелинейностью, которую можно не учитывать при воздействии вплоть до полей $\sim 10^5$ В/см, а форма эллипса не меняется, происходит лишь его поворот.

Полученные в работе инновационные результаты могут:

- составить базу для разработки оптических установок экспресс-диагностики роговицы глаза и органических объектов;
- использоваться для моделирования линейных и нелинейных оптических характеристик органических соединений типа коллагена, образующего значительную часть живых тканей.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Расчет эллипсометрических параметров неоднородных биологических объектов // Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы». I Междунар. науч.-техн.

конф. «Физика и технические приложения волновых процессов». Самара, 2001. Т. 2. 134 с.; Они же. Эллипсометрический метод диагностики биологических объектов // Там же. С. 145–136; Они же. Пропускательные поляризационные характеристики роговицы глаза // X Международная школа семинар «Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот». Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот. М., 2002. Т. 10 (X). Вып. 2(34). 241 с.; Они же. Эллипсометрический метод в диагностике сред со сложной молекулярной структурой (роговица глаза) // Там же. 246 с.; Щелоков Р.В. Эллипсометрический метод в диагностике роговицы глаза // VII Межвузовская конференция студентов и молодых ученых г. Волгограда и Волгоградской области. Вып. 4: Физика и математика. Волгоград, 2002. С. 41–42; Он же. Комплекс программ по расчету свойств роговицы глаза // VII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Тез. докл. Волгоград, 2002. С. 189–190; Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрический метод диагностики состояния роговицы глаза // Материалы междисциплинарной (медицина, биология, физика, радиоэлектроника, химия, математика, информатика, педагогика...) конференции с международным участием «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века для диагностики и лечения заболеваний человека» («НБИТТ-21»). Петрозаводск, 2003. С. 9–10; Они же. Определение оптических параметров биологических объектов методами эллипсометрии // Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы». II Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов». Самара, 2003. 381 с.; Они же. Определение оптических параметров роговицы глаза методами эллипсометрии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2004. Т. 7. № 3. С. 75–79.

² Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. Т. 8. 621 с.

³ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Пропускательные поляризационные характеристики роговицы глаза...; Они же. Влияние поперечных сшивок коллагена на форму их спектров поглощения // Лазеры для медицины, биологии и экологии: Тез. докл. конф. СПб., 2006. С. 22–23.

⁴ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрический метод в диагностике сред со сложной молекулярной структурой (роговица глаза)...; Щелоков Р.В. Эллипсометрический метод в диагностике роговицы глаза...; Щелоков Р.В.,

Яцышен В.В. Эллипсометрический метод диагностики состояния роговицы глаза...; Они же. Определение оптических параметров биологических объектов методами эллипсометрии...; Они же. Определение оптических параметров роговицы глаза методами эллипсометрии...

⁵ Schelokov R.V., Yatsishen V.V. Diagnostics of virus diseases of a cornea by ellipsometry methods // *Proceedings of SPIE*. 2004. Vol. 5474. P. 312–320; Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Оптическая поляризационная диагностика вируса герпеса // *Вестник Волгоградского государственного университета*. Сер. 9, Исследования молодых ученых. 2003–2004. Вып. 3. Ч. 2. С. 61–66.

⁶ Schelokov R.V., Yatsishen V.V. Diagnostics of virus diseases of a cornea by ellipsometry methods...; Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Оптическая поляризационная диагностика вируса герпеса...

⁷ Schelokov R.V., Yatsishen V.V. Diagnostics of virus diseases of a cornea by ellipsometry methods...; Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Оптическая поляризационная диагностика вируса герпеса...

⁸ Эварестов Р.А. Квантовохимические методы в теории твердого тела. Ленинград: ЛГУ, 1982. 280 с.

⁹ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Влияние поперечных сшивок коллагена на форму их спектров поглощения // *Лазеры для медицины, биологии и экологии: Тез. докл. конф.* СПб., 2006. С. 22–23; Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений типа коллагена // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. 2007. Т. 10. № 3. С. 75–79.

¹⁰ Polarizable Continuum Model (PCM) Calculations of Solvent Effects on Optical Rotations of Chiral Molecules / В. Mennucci, J. Tomasi, R. Cammi, J.R. Cheeseman etc. // *J. Phys. Chem. A*. 2002. Vol. 106. № 25. P. 6102–6113.

¹¹ Кизель В.А., Бурков В.И. Гиротропия кристаллов. М.: Наука, 1980. 304 с.

¹² Polarizable Continuum Model (PCM) Calculations of Solvent Effects on Optical Rotations of Chiral Molecules...

¹³ Кизель В.А., Бурков В.И. Указ. соч.

¹⁴ Эварестов Р.А. Указ. соч.

¹⁵ Там же.

¹⁶ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений типа коллагена...

¹⁷ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений типа коллагена...; Они же. Экспериментальное определение эллипсометрических параметров денатурированного коллагена // *Лазеры для медицины, биологии и экологии: Тез. докл. конф.* СПб., 2006. С. 23–24; Щелоков Р.В. Экспериментальная установка по измерению эллипсометрических параметров биологических объектов // *X Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Тез. докл.* Волгоград, 2006. С. 245–246.

¹⁸ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений типа коллагена...; Они же. Экспериментальное определение эллипсометрических параметров денатурированного коллагена...; Щелоков Р.В. Экспериментальная установка по измерению эллипсометрических параметров биологических объектов...

¹⁹ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Метод НПВО в диагностике биологических и органических объектов // *Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы»*. III Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов». Волгоград, 2004. 427 с.; Они же. НПВО спектры на границе со смесью, содержащей органические вещества // *Лазеры. Измерения. Информация: Тез. докл. конф.* СПб., 2004. 35 с.; Schelokov R.V., Yatsishen V.V. ATR spectra on boundary with mixture containing organic substances // *Proceedings of SPIE*. 2005. Vol. 5447. P. 125–133.

²⁰ Щелоков Р.В., Яцышен В.В. Эллипсометрическое исследование оптических свойств органических соединений типа коллагена...; Они же. КР-спектры органических соединений // *Приложение к журналу «Физика волновых процессов и радиотехнические системы»*. III Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов». Волгоград, 2004. 412 с.; Они же. Расчет интенсивности резонансного комбинационного рассеяния света органическими молекулами // *Лазеры для медицины, биологии и экологии: Тез. докл. конф.* СПб., 2005. С. 37–38.