

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ ПЛЕНОК ПММА И ПОЛИСТИРОЛА, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ АЗОТА

В.И. Ковалев¹⁾, А.В. Леонтьев²⁾, А.В. Хомич¹⁾

¹⁾Институт радиотехники и электроники РАН РФ, Фрязино,

²⁾Белгосуниверситет, Минск, пр. Скорины, 4, тел. 277-08-80, e-mail: leontyev@bsu.by

Представлены результаты исследования методом спектральной эллипсометрии дисперсии коэффициента преломления $n(\lambda)$ и коэффициента экстинкции $k(\lambda)$ в области 270 -1030 нм пленок ПММА и полистирола, облученных ионами азота

Введение

В настоящее время в технологии интегральной оптики (ИО) и оптоэлектроники интенсивно применяются новые материалы и технологии [1-4]. Разрабатываются различные гибридные микроволноводные структуры: полимер/SiO₂ [5], полимер/Ta₂O₅/полимер [6], а также композиции на основе металлизированных полиимидных пленок [7]. Если ранее на основе органических материалов формировали лишь пассивные элементы ИО, то сейчас возможности их использования значительно расширились [8]. В этой связи весьма интересен метод ионного легирования, позволяющий формировать нанокластеры ионов металлов в диэлектрических матрицах [9]. Высокоэнергетическая ионная имплантация используется для формирования разупорядоченных квантовых стенок (DQW) [10], используемых в качестве оптических волноводов.

Для большинства перечисленных практически важных применений ионно-лучевых технологий в области интегральной оптики и оптоэлектроники необходимо, в первую очередь, знать изменение оптических функций исследуемых материалов в видимой, ближней и средней ИК-областях спектра. Ранее [3,4] мы представляли результаты изучения влияния ионного облучения на оптические свойства пленок полиметилметакрилата и полистирола, но оптические константы (n, k) определялись с помощью компенсационного эллипсометра ЛЭФ-3М только на одной длине волны ($\lambda = 0,6328$ мкм). В настоящей работе рассмотрено применение метода спектральной эллипсометрии для получения спектров $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$ в области $\lambda = 270-1030$ нм.

Экспериментальные методики

Для определения спектральных зависимостей коэффициента преломления $n(\lambda)$ и коэффициента экстинкции $k(\lambda)$ твердых тел используют метод Крамерса-Кронига [11] и спектральной эллипсометрии. В первом случае необходимо знать спектр коэффициента отражения $R(\lambda)$ желательного в широкой области спектра. В противном случае имеющиеся экстрополяционные формулы могут привести к серьезным ошибкам в определении оптических функций. Кроме того, из-за эффектов, связанных с отражением излучения от системы пленка – подложка получить спектр $R(\lambda)$ пленки не всегда возможно. Поэтому, спектральная эллипсометрия является наиболее надежным методом определения спектров $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$ в видимой и ближней ИК-областях. Особо привле-

кательным является метод спектральной эллипсометрии с бинарной модуляцией состояния поляризации. Подробно данная методика описана в [12]. Пленки полиметилметакрилата [C₅H₈O₂]_n и полистирола [C₈H₈]_n толщиной 0,5 - 1,0 мкм наносили на очищенные подложки ИК - прозрачного кремния (КДБ-10) методом центрифугирования. Полученные образцы облучались ионами атомарного и молекулярного азота с энергией 300 и 250 кэВ дозами от 1×10^{12} до 5×10^{15} см⁻².

Результаты и обсуждение

При обработке результатов эллипсометрических измерений $\text{tg}\Psi$, $\cos\Delta$ очень важно наиболее правильным образом выбрать математическую модель, отражающую данную физическую систему. Для обработки спектров использовалась модель Si(подложка)/SiO₂/ПММА, включающая наличие на поверхности кремниевой подложки слоя естественного оксида толщиной 4-5 нм. На рис.1 приведено сравнение наших результатов по оптическому спектру неимплантированного ПММА с известными литературными данными, полученными методом спектральной эллипсометрии [13,14]. Видно, что рассчитанный нами спектр $n(\lambda)$ весьма близок к результатам [14].

На рис.1-4 приведены эллипсометрические спектры $\text{tg}\Psi$, $\cos\Delta$, а также дисперсионные кривые $n(\lambda)$, $k(\lambda)$ пленок ПММА, облученных ионами N⁺(300 кэВ, D= 1×10^{13} см⁻²).

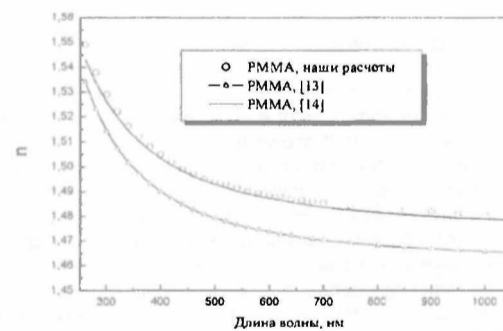


Рис.1. Сравнение спектров оптических функций рассчитанных различными авторами

Результаты проведенных исследований показывают, что при дозах облучения ПММА ионами азота ниже 1×10^{15} см⁻² в области 300-600 нм наблюдается сильная дисперсия $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$. Величины $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$ возрастают с уменьшением λ .

При $\lambda > 600$ нм имеет место слабая дисперсия оптических функций.

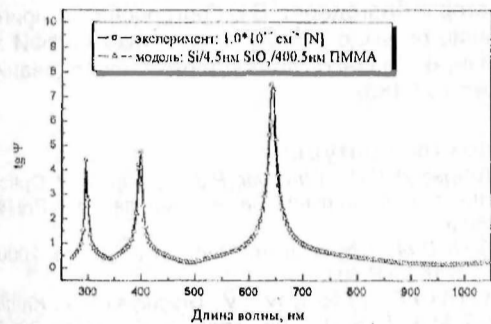


Рис.2. Спектр $\text{tg}\Psi$ ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$)

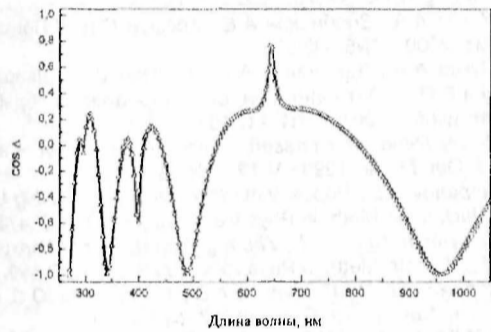


Рис.3. Спектр $\text{cos}\Delta$ ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$)

При дозах облучения более $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ поведение $n(\lambda)$ и $k(\lambda)$ более сложное, что связано происходящими изменениями структуры и состава облучаемых материалов, которые исследовались методами ИК-спектроскопии и резерфордского обратного рассеяния ионов гелия.

При облучении пленок полистирола ионами N_2^+ уже при дозах $D > 1 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ значительно возрастает коэффициент поглощения, что затрудняет их использование в качестве материала для микроволноводов.

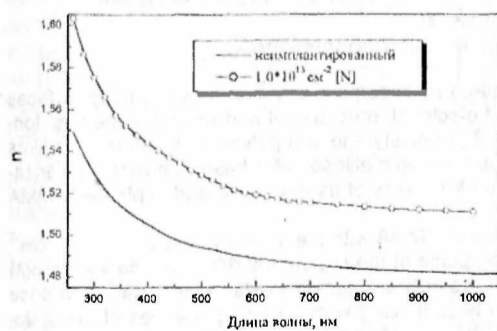


Рис.4. Спектр коэффициента преломления n пленок ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$)

Поэтому, для использования ионного легирования для формирования диэлектрических микроволноводов желательно использовать имплантацию атомарных, а не молекулярных ионов. При этом необходимо выполнить условие: $[dE/dx]_e \gg [dE/dx]_n$.

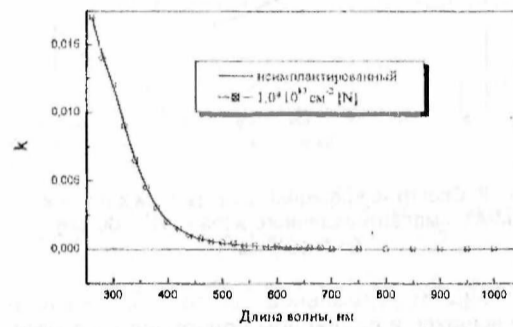


Рис.5. Спектр коэффициента экстинкции k пленок ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{13} \text{ см}^{-2}$)

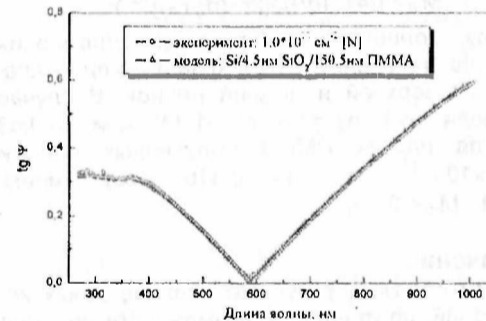


Рис.6. Спектр $\text{tg}\Psi$ ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$)

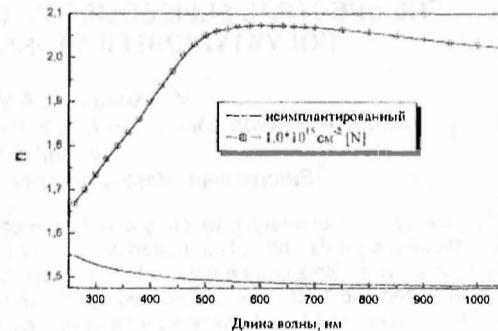


Рис.7. Спектр коэффициента преломления n пленок ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$)

Полученные спектры $n(\lambda)$ дают возможность, используя известные формулы [15], рассчитать число мод распространяющихся в волноводе.

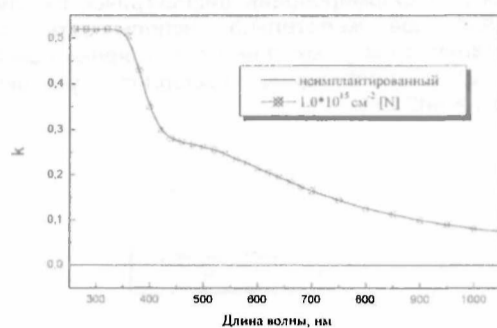


Рис.8. Спектр коэффициента экстинкции к пленок ПММА, имплантированного ионами N^+ (300 кэВ, $D=1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$)

Оценим максимальное число мод, распространяющихся в планарном волноводе на основе следующей структуры: легированный ПММА/ SiO_2 /Si-подложка. Для ступенчатого и градиентного волновода максимальное количество мод (M) дается выражениями:

$$M_{\text{ступ}} = 1/2 + (2d/\lambda_0)[2n_3(n_2-n_1)]^{1/2}$$

$$M_{\text{гр}} < 1/4 + (4d/\lambda_0)[2n_3(n_2-n_1)]^{1/2},$$

где d, n_2 – толщина и коэффициент преломления волноводного слоя, n_1, n_3 – коэффициенты преломления верхней и нижней пленок. В случае волновода $n_1=1, n_2=1,6, n_3=1,445$ при $\lambda_0=0,63$ мкм для пленок ПММА облученных ионами N^+ ($D=2 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}, d=0,315$ мкм) имеем: $M_{\text{ступ}}=1, M_{\text{гр}}<2$.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований подтвердили возможности ионного легирования для локального изменения коэффициента преломления полимерных материалов, а также существенно расширили представления о

дисперсии оптических функций исследуемых материалов в практически важной области спектра.

Авторы благодарят В.В.Григорьеву за приготовление образцов полимеров, а также БФФИ за частичную финансовую поддержку исследований (проект Т03-185).

Список литературы

1. Townsend P.D., Chandler P.J., Zhang L. // Optical Effects of Ion Implantation. -Cambridge Univ. Press - 280 p.
2. Ruck D.M. // Nucl. Instr. Meth. in Phys.Res.-2000.- В166-167. - P.602.
3. Komarov F.F., Leontyev A.V., Grygoryev V.V., Kamishan M.A. // Nucl. Instr. Meth. in Phys.Res.-2002.- В191. - P.728.
4. Леонтьев А.В. // Микроэлектроника.-2001.-Т.30 - №5. - С.377.
5. Bosc D., Devoldere N., Bonnel M. at al. // Matter Sci. and Eng.-1999. -V.75. - №2. - P.155.
6. Жуков А.А., Здобников А.Е., Клемин С.Н. // Прикл. Физ.-2000. - №5. - С.80.
7. Жуков А.А., Здобников А.Е., Клемин С.Н., Лаврищев В.П. // Опт.-электрон. сист. визуализ. и обраб. опт. изобр.-2001. - №1. - С.101.
8. Ridder Rene M., Driessen Alfred, Rikkers Erwin at al. // J. Opt. Mater.-1999.- V.12. - №2-3. - С.205.
9. Stepanov A.L., Popok V.N., Khaibullin I.B., Kreibig U. // Nucl. Instr. Meth. in Phys.Res.-2002. - В 191.-P.473.
10. Han Dejun, Chan K.T., Zhuang Wanru, Wang Wenxun // Nucl. Instr. Meth. in Phys.Res.-1997.-В 132.-P.599.
11. Дорожкин Н.Н., Леонтьев А.В., Леонтьева Ю.С. // Вестн. Бел. Ун-та.-Сер.1.-1987.-№1.-С.15.
12. В.И.Ковалев, П.И.Кузнецов, В.А.Житов и др. // ЖПС.-2002.-Т.69.-№2.-С.258.
13. Ferrieu F., Lecat J.H. // J. Electrochem.Soc.-1990.- Vol.137.-№7.-P.2203.
14. Pliskin W.A. // Electrochem.Soc.-1987.-Vol.134.- P.2819.
15. Свечников Г.С. Элементы интегральной оптики.- М.: Радио и связь.1987.-104 с.

THE SPECTRAL ELLIPSOMETRY OF THE POLYMETHYLMETHACRYLATE AND POLYSTYRENE FILMS IRRADIATED WITH NITROGEN IONS

V.I. Kovalev¹, A.V. Leontyev², A.V. Khomich¹,

¹Institute of Radiotechnics and Electronics, Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, e-mail: vik197@ire216.msk.su

²Belorussian State University, Minsk, Belarus, e-mail: Leontyev@bsu.by

High-energy ion implantation, which is a surface-modification technique, has become a common tool to modify surfaces of semiconductors, crystals and optical materials in order to obtain required electrical, mechanical and optical properties. Ion-beam modified polymer films can be applied to form waveguide structures. The polystyrene and polymethylmethacrylate films deposited on silicon substrates were irradiated by N_2^+ and N^+ ions. The spectroscopic ellipsometer based on binary polarization modulation was used to determine spectra of refractive n and extinction k indexes of as-deposited and implanted PMMA and PS films in 270-1030 nm range.

The results of the presented investigations show that at nitrogen irradiation of PMMA with the doses below $D=1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ a strong dispersion of refractive index (n) and extinction coefficient (k) takes place at the region 300-600 nm. The values $n(\lambda)$ and $k(\lambda)$ increase with reduction λ . Under $\lambda > 600$ nm a weak dispersion of the optical function exists. At the irradiation dose more than $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ the behaviour of $n(\lambda)$ and $k(\lambda)$ are more complex. It is connected with occurring changes of the structure and composition of irradiated materials which were investigated by RBS and IR-spectroscopy. At the irradiation of the polystyrene films of N_2^+ ions at the dose $D > 1 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ the extinction coefficient strongly increases what obstructs their applications as material for microwaveguides. Therefore, it is advisable to use the irradiation of the atomic rather than molecular ions at the same energy for using ion implantation for formation of the dielectric waveguides. Herewith it is necessary performing of the condition: $dE/dx_a \gg [dE/dx]_n$. Thereby, the results of performed investigation confirmed the possibility of the ion implantation for local change the refractive index of polymeric materials, as well as greatly increased our presentation about the dispersion of the optical function of investigated materials in practically important part of the spectrum.