

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ НИКЕЛЯ

Ю. А. Бумай², В. С. Волобуев¹, В. Ф. Валеев³, Н. И. Долгих¹,
М. Г. Лукашевич¹, Ф. А. Нажим¹, Р. И. Хайбуллин³

¹Белорусский государственный университет, vlasname@gmail.com

²Белорусский национальный технический университет

³Казанский физико-технический институт Российской академии наук

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных способов изменения физических и оптических свойств полимерных пленочных материалов является использование тонких наноструктурных покрытий, сформированных методами осаждения в вакууме, либо наноструктурных слоев, которые можно создать методами ионной имплантации (ИИ). По сравнению с исходными полимерами, подобные структуры обладают значительно более высокой термической, химической и электрической стабильностью и имеют широкий диапазон физических свойств, связанных с молекулярной структурой и содержанием атомов различных неметаллических химических элементов (фтор, хлор, водород и т. д.) и металлических (кобальт, серебро, никель и т. д.) [1]. Внесение последних в полимерную матрицу приводит к способности образовывать различные межатомные связи, характеризующиеся различным типом гибридизации электронных орбиталей. Варьируя содержание подобных элементов в имплантированном слое или вводя в его состав различные примеси, можно получить новую полимерную матрицу с требуемым набором электрических, магнитных и оптических свойств.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследовались оптические свойства полимерных пленок (49 мкм) 2-х видов (рис. 1): полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Одним из преимуществ данных полимеров является их достаточно высокая устойчивость к радиационно-стимулированной деструкции. Имплантация пленок осуществлялась ионами никеля Ni (40 кэВ) при различных дозах и плотностях ионного тока ($1 \cdot 10^{16}$ – $1,5 \cdot 10^{17}$ ион/см² и 5–15 мкА/см, соответственно) на ионно-лучевом ускорителе ИЛУ-3 при комнатной температуре. Средний проекционный пробег ионов никеля составлял 46 нм. Спектры пропускания и отражения в диапазоне 300–800 нм регистрировались на спектрофотометре SPECORD UV VIS.

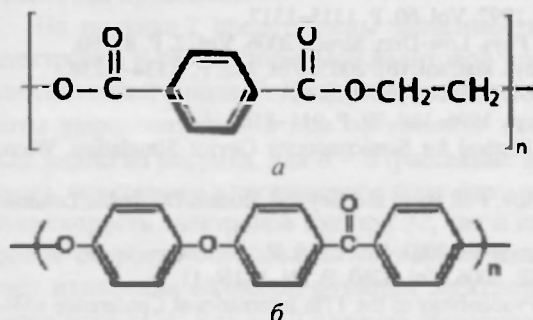


Рис. 1. Структура молекул ПЭТФ (а) и ПЭЭК (б)

Изменение оптических свойств данных полимеров (при одинаковых условиях и имплантации) вела происходило одинаковым образом. Поэтому в данной работе мы ограничиваем внимание на результатах модификации оптических свойств одного из них – полиэфирэфиркетона.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2, 3, представлены спектры пропускания и отражения имплантированных плёнок полиэфирэфиркетона, на рис. 4 показан рассчитанный на их основе спектр поглощения. Спектр пропускания исходного образца ПЭЭК (рис. 2) имеет хорошо выраженную нарастающую форму линии в диапазоне 370–450 нм в области сильного поглощения и пологую в области прозрачности.

С ростом дозы модифицированные образцы приобретают характерный металлический блеск, что приводит к значительному увеличению их отражательной (рис. 3) и поглощательной способности (рис. 4) до 50 % и 30 % соответственно. При этом край оптического поглощения сдвигается в длинноволновую область. В спектрах отражения имплантированных образцов (рис. 3) наблюдается наличие максимума при 725 нм, который возможно обусловлен плазменным резонансом на наночастицах металла (в нашем случае – никеля) в полимерной матрице [2].

Дозовая зависимость пропускания, отражения и поглощения для данного максимума представлена на рис. 5. Разрушение межатомных связей при высокодозной имплантации и наличие большого количества атомов углерода делает также вероятным образование в имплантированном слое углеродных кластеров. Такого рода процессы уже наблюдались при имплантации металлов в полимерные плёнки [2].

Размер углеродных кластеров можно оценить через число элементарных бензоидных циклов – N , входящих в состав кластера, и величину ширины оптической щели Тауца E_g (эВ) по формулам [3, 4]:

$$N = (2|\beta|/E_g)^2; \quad (1)$$

$$d[\text{нм}] \approx 2.2/(E_g)^{1/2}. \quad (2)$$

Величина E_g для данной дозовой нагрузки найдена путём представления полученного спектра оптического поглощения в координатах Тауца [4, 5] и экстраполяцией полученной линейной зависимости на ось энергий, показанной на рис. 6. Значение резонансного интеграла β , для оценок принято считать равным

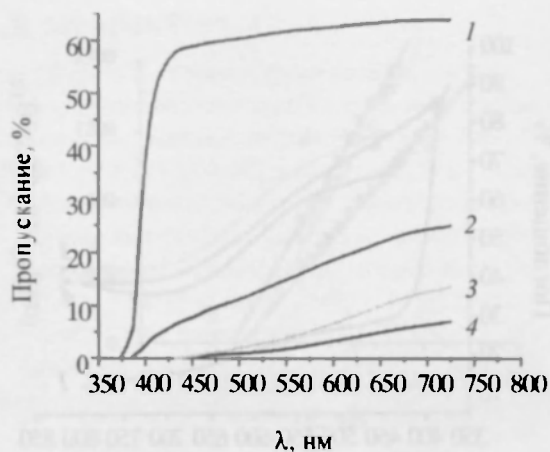


Рис. 2. Спектр пропускания пленок ПЭЭК, имплантированных ионами никеля. D , см²:
1 – исходный образец; 2 – $1 \cdot 10^{16}$;
3 – $5 \cdot 10^{16}$; 4 – $1 \cdot 10^{17}$

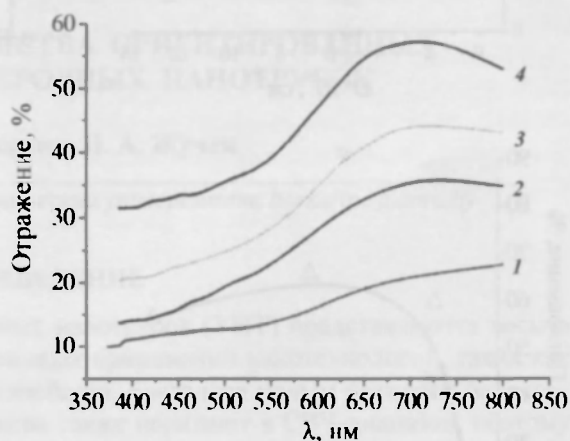


Рис. 3. Спектр отражения пленок ПЭЭК, имплантированных ионами никеля. D , см²:
1 – исходный образец; 2 – $1 \cdot 10^{16}$;
3 – $5 \cdot 10^{16}$; 4 – $1 \cdot 10^{17}$

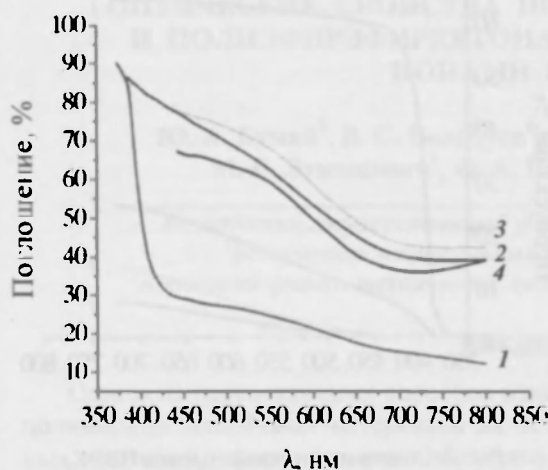
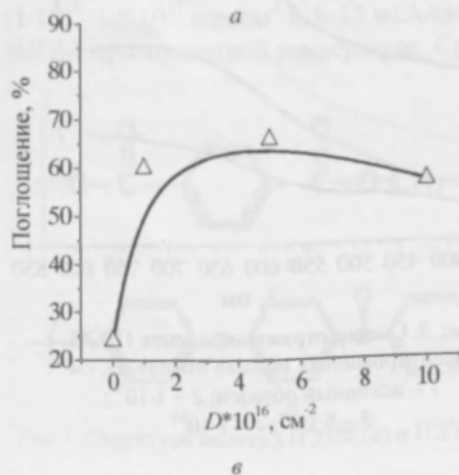
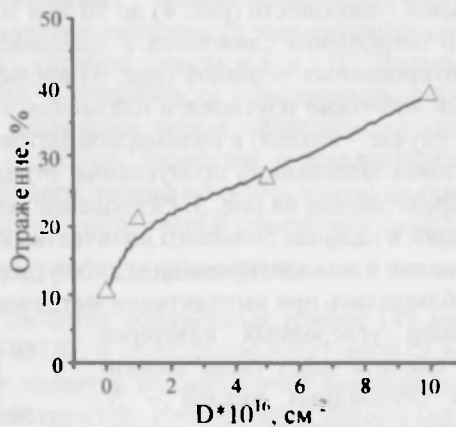
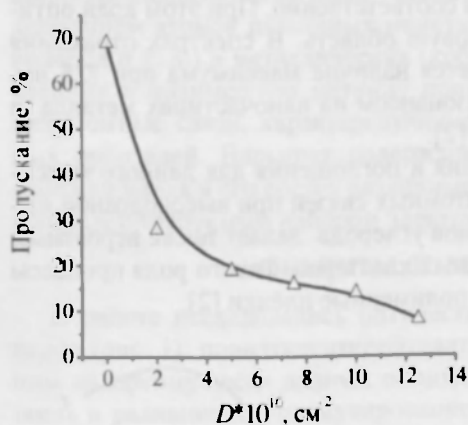


Рис. 4. Спектр поглощения пленок ПЭЖ, имплантированных ионами никеля. D , см^{-2} :
1 – исходный образец; 2 – $1 \cdot 10^{16}$;
3 – $5 \cdot 10^{16}$; 4 – $1 \cdot 10^{17}$



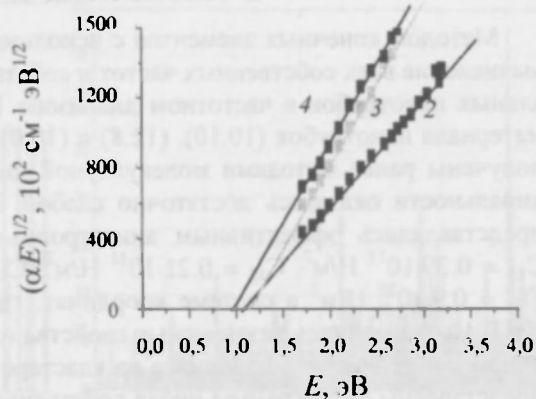
2,9 эВ [3]. Величина щели Тауца для модифицированных полимеров находилась в пределах 1,06–1,2 эВ. Оценка показала, что диаметр нанокластеров слабо зависит от дозы, в зависимости от дозы от $\sim 1,8$ до $\sim 2,2$ нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом исследование пропускания, отражения и поглощения плёнок ПЭЖ и ПЭТФ, имплантированных ионами никеля в исследуемом интервале доз показало, что пропускание при имплантации максимальной дозой уменьшается до 5 раз по сравнению с исходным образцом. Сдвиг края поглощения при максимальной дозе имплантации составлял ~ 80 нм,

Рис. 5. Зависимость пропускания (а), отражения (б) и поглощения (в) пленок ПЭЖ на длине волны $\lambda = 556$ нм от дозы имплантации

что, возможно, свидетельствует о росте сопряжения связей с ростом дозовой нагрузки. Обнаруженное увеличение отражения (до 50 %) и поглощения (до 30 %) модифицированного полимера с ростом дозы имплантации связано с ростом концентрации и размеров углеродных кластеров, образующихся в модифицированном слое, а также формированием нанокластеров никеля. Произведена оценка размеров формирующихся в ходе имплантации нанокластеров углерода в зависимости от дозы имплантации по модели Тауца – в исследуемом интервале доз максимальный диаметр нанокластеров достигал 2,2 нм.



ЛИТЕРАТУРА

1. Оджаев В. Б., Козлов И. П., Попок В. Н., Свиридов Д. В. // Ионная имплантация полимеров. Минск: БГУ, 1998. – 197 с.
2. Степанов А.Л. Оптические свойства металлических наночастиц, синтезированных в полимере методом ионной имплантации // Журнал технической физики. 2004. № 2. 11 с.
3. Robertson J., O'Reilly E. P. // Phys. Rev. B. 1987. 35. 2946.
4. Фаизрахманов И. А., Базаров В. В., Степанов А. Л., Хайбуллин И. Б. Влияние бомбардировки ионами углерода на наноструктуру алмазоподобных пленок // ФТП. 2001. Т. 35. В. 5. 7 с.
5. Фаизрахманов И. А., Базаров В. В., Степанов А. Л., Хайбуллин И. Б. Влияние имплантации ионов меди на оптические свойства и низкотемпературную проводимость углеродных плёнок // ФТП. 2006. Т. 40. В. 4. 12 с.

РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ОРИЕНТИРОВАННЫХ МАССИВОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

В. В. Баркалин, П. А. Жучек

Белорусский национальный технический университет, barkaline@bntu.by

1. ВВЕДЕНИЕ

Упорядоченные массивы углеродных нанотрубок (УНТ) представляются весьма перспективными элементами для различных применений нанотехнологий, таких как химические и биосенсоры [1], СВЧ-устройства. Благодаря малым размерам нанотрубок частоты их механических резонансов также попадают в СВЧ-диапазон, поэтому описание таких резонансных свойств весьма актуально. В настоящее время вычисление резонансных характеристик массивов УНТ возможно лишь при использовании континуального приближения, т. к. даже молекулярно-динамические расчеты для систем из миллионов атомов на суперкомпьютерных конфигурациях чрезвычайно ресурсоемки.