

## ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМАГНЕТИЗМ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ФОСФОРА И СУРЬМЫ С ЭНЕРГИЕЙ 60 кэВ

А.Н. Олешкевич<sup>1)</sup>, Н.М. Лапчук<sup>1)</sup>, Т.М. Лапчук<sup>1)</sup>,  
Д.В. Жигулин<sup>2)</sup>, Н.А. Никонович<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь,

*Oleshkevich@bsu.by, Lapchuk@bsu.by, LapchukT@bsu.by, nadya.nikh@gmail.com*

<sup>2)</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,  
ул. И.П. Казинца 121 А, Минск 220108, Беларусь, *zhygulin@mail.ru*

Методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), масс-спектрометрии вторичных ионов и комбинационного рассеивания света (КРС) исследованы пленки полиэтилентерефталата (ПЭТФ), имплантированные ионами фосфора и сурьмы с энергией 60 кэВ и дозой 2000 мкКл/см<sup>2</sup>. Влияние лазерного излучения на парамагнетизм и на изменение проводящих свойств пленок ПЭТФ обнаруживалось по изменению частоты резонатора и амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца рубина, контролирующего добротность резонатора. Обнаружена зависимость амплитуды сигнала ЭПР эталона от суммарного времени облучения пленок ПЭТФ лазерным излучением.

**Ключевые слова:** электронный парамагнитный резонанс; имплантация ионов фосфора и сурьмы; полиэтилентерефталат; лазерное излучение; кластеры углерода.

## INFLUENCE OF LASER RADIATION ON PARAMAGNETISM OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILMS IMPLANTED WITH PHOSPHORUS AND ANTIMONY IONS WITH ENERGY OF 60 keV

A.N. Oleshkevich<sup>1)</sup>, N.M. Lapchuk<sup>1)</sup>, T.M. Lapchuk<sup>1)</sup>,  
D.V. Zhigulin<sup>2)</sup>, N.A. Nikonovich<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus,  
*Oleshkevich@bsu.by, Lapchuk@bsu.by, LapchukT@bsu.by, nadya.nikh@gmail.com*

<sup>2)</sup>Joint Stock Company «INTEGRAL» – «INTEGRAL» Holding Managing Company,  
121A I.P. Kazintsa Str., 220108 Minsk, Belarus, *zhygulin@mail.ru*

Polyethylene terephthalate (PET) films implanted with phosphorus and antimony ions with an energy of 60 keV and a dose of 2000  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$  were studied using electron paramagnetic resonance (EPR), secondary ion mass spectrometry, and Raman scattering (RS). The effect of irradiation on paramagnetism and on changes in the conductive properties of the PET films was detected by changes in the resonator frequency and the amplitude of the EPR signal of a reference ruby sample, which controls the resonator quality factor. A dependence of the amplitude of the EPR signal of the standard on the dose of implanted ions, on the total time of training the PET films with laser radiation was found.

**Keywords:** electron paramagnetic resonance; implantation of phosphorus and antimony ions; polyethylene terephthalate; laser radiation; carbon clusters.

### Введение

Основной особенностью имплантации полимеров является высокая плотность энергии, передаваемой образцу [1]. В

большинстве случаев этой энергии достаточно для массового разрыва химических связей, что создает предпосылки для глубокой модификации облученного матери-

ала, сопровождающейся радикальной перестройкой химических связей [2]. Одним из важнейших последствий модификации поверхностного слоя полимера при ионной имплантации является возникновение электропроводящих свойств образца [1]. При помощи лазерного излучения можно не только изменять свойства уже модифицированных полимеров, что приведет к возникновению новых характеристик, но и установить степень устойчивости образовавшихся дефектов к инфракрасному, ударному и тепловому воздействию лазера [3].

Цель работы – изучить влияние лазерного излучения на парамагнитные и структурные свойства имплантированных ионами фосфора и сурьмы пленок полиэтилентерефталата.

### Материалы и методы исследования

В качестве исследуемых образцов использовался полиэтилентерефталат ( $C_{16}H_{8}O_4$ )<sub>n</sub>, модифицированный методом ионной имплантации. Для исследования влияния лазерного излучения на дефектную структуру образцов ПЭТФ, имплантированных ионами сурьмы и фосфора с  $E = 60$  кэВ и максимально набранной дозой 2000 мкКл, образцы облучались лазерным излучением с длиной волны  $830 \pm 20$  нм и мощностью непрерывного излучения 20 мВт. Аналогичное воздействие лазерным излучением проводилось и для исходной пленки ПЭТФ. Выбор маломощного лазера обусловлен возможностью исследовать пленки без видимого нарушения поверхности и объема образца, и только с целью регистрации в диапазоне СВЧ чувствительности примеси сурьмы и фосфора в исследуемых пленках ПЭТФ к лазерному излучению.

Спектры ЭПР пленок ПЭТФ регистрировались на спектрометре «RadioPan SE/X-2543» в X-диапазоне при комнатной температуре. Для контроля добротности измерительного резонатора использовался

кристалл рубина, закрепленный на стенке резонатора.

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим результаты исследования пленок ПЭТФ, имплантированных ионами сурьмы.

В спектрах ЭПР образцов ПЭТФ исходной и облученной ионами сурьмы пленки регистрировалась только резонансная линия в магнитном поле порядка 1800 Гс, принадлежащая эталонному образцу рубина. Линия поглощения, обусловленная имплантированными в пленку ПЭТФ ионами сурьмы, не наблюдалась. Любые структурные нарушения в образцах, обусловленные воздействием лазерного излучения и приводящие к изменению электрических или магнитных характеристик пленок, будут косвенно влиять на амплитуду спектра ЭПР эталонного образца, а также на его резонансную частоту. Поэтому для анализа процессов, происходящих в пленках ПЭТФ после воздействия на них лазерного излучения, рассчитывались параметры линии ЭПР эталонного образца, закрепленного на стенке резонатора.

Как видно из рис. 1, амплитуда сигнала ЭПР эталонного образца увеличивается по мере роста суммарного времени облучения лазерным излучением исходного образца, тогда как для образца с сурьмой при тех же условиях облучения лазером амплитуда сигнала ЭПР эталона изменялась незначительно.

Возможно, из-за наличия металлической примеси сурьмы в поверхностном слое имплантированная пленка отражает большую часть падающего излучения, тогда как исходная пленка ПЭТФ пропускает и частично поглощает излучение.

Сравнения результатов по изменению резонансной частоты эталонного образца (рис. 2), обусловленному трансформированием электрофизических параметров пленок, облученных лазером, показало,

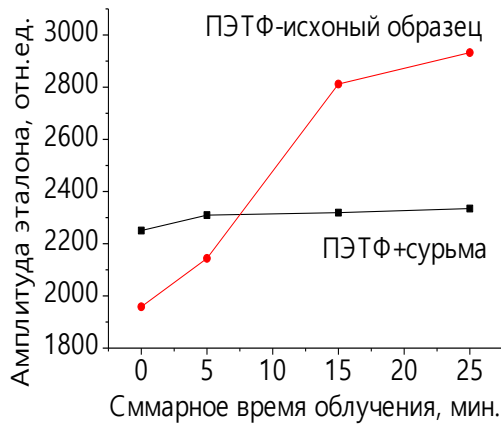


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца от суммарного времени облучения лазерным излучением образцов ПЭТФ исходного и имплантированного ионами сурьмы

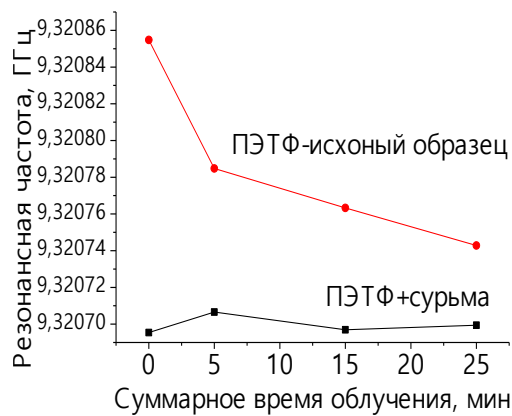


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты, фиксируемой при записи сигнала ЭПР эталонного образца, от суммарного времени облучения лазерным излучением образцов ПЭТФ исходного и имплантированного ионами сурьмы

что резонансная частота эталонного образца значительно уменьшается при измерении исходного образца ПЭТФ, тогда как для образца с сурьмой, после облучения лазером, резонансная частота эталонного образца претерпевала незначительное изменение.

Рассмотрим результаты исследования методом ЭПР пленок ПЭТФ, имплантированных ионами фосфора.

Как и для ионов сурьмы, рассчитывались параметры линии ЭПР эталонного образца, закрепленного на стенке резонатора, при регистрации спектров ЭПР пленки ПЭТФ, имплантированной ионами

фосфора до и после облучения лазерным излучением.

На рис. 3 показаны зависимости амплитуды сигнала ЭПР и резонансной частоты эталонного образца от суммарного времени облучения лазерным излучением образцов ПЭТФ исходного и имплантированного ионами фосфора. Из рис. 3 видно, что параметры спектров эталонного образца (амплитуда и резонансная частота) уменьшаются по мере увеличения суммарного времени облучения лазерным излучением поверхности пленки ПЭТФ, имплантированной ионами фосфора. Это является отличительной чертой отклика пленки ПЭТФ, имплантированной ионами фосфора, от отклика пленки ПЭТФ, имплантированной ионами сурьмы, на воздействие лазерного излучения.

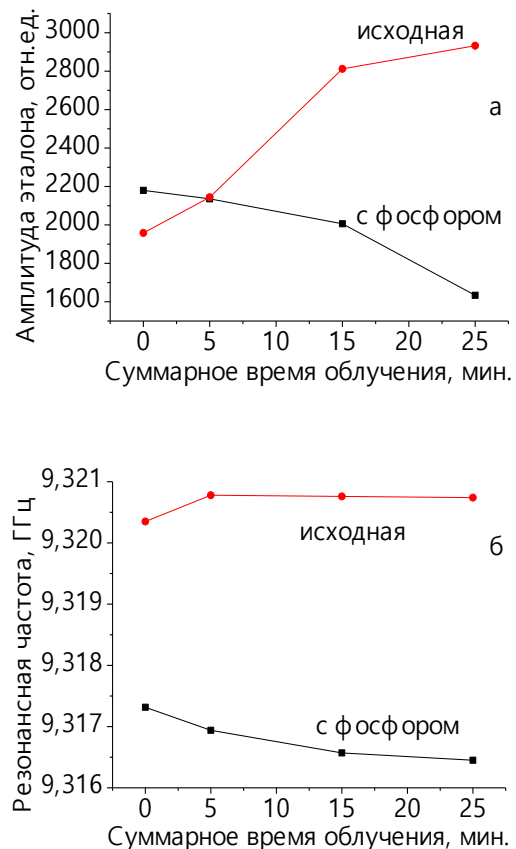


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала ЭПР (а) и резонансной частоты (б) эталонного образца от суммарного времени облучения лазерным излучением исследуемых образцов ПЭТФ исходного и имплантированного ионами фосфора

Если пленки ПЭТФ, имплантированные ионами сурьмы, отражают лазерное излучение, следовательно, можно предположить, что пленки ПЭТФ, имплантированные ионами фосфора, напротив, являются хорошими поглотителями лазерного излучения.

### **Заключение**

Таким образом, установлено, что наиболее чувствительными к лазерному облучению являются пленки исходного образца ПЭТФ, а также имплантированные ионами фосфора. Пленки ПЭТФ, им-

плантированные ионами сурьмы, проявили свойства экранирования лазерного излучения с длиной волны  $830 \pm 20$  нм.

### **Библиографические ссылки**

1. Оджаяев В.Б., Козлов И.П., Попок В.Н., Свиридов Д.В. Ионная имплантация полимеров. Минск: БГУ; 1998. 197 с.
2. Комаров Ф.Ф., Константинов С.В. Ионная и фотонная обработка материалов. Минск: Вышэйшая школа; 2022. 246 с.
3. Торшхоева З.С. Лазерная деструкция полимерных материалов. *Журнал пластические массы* 2021; (1-2): 49-50.