

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ СУРЬМЫ ($E = 60$ кэВ) НА ПАРАМАГНЕТИЗМ ПЛЕНОК ПЭТФ

А. Н. Олешкевич¹, В. Б. Оджаев¹, Т. М. Лапчук¹, Е. В. Телеш², Н. М. Лапчук¹,
Н. А. Никонович¹, Е. И. Клепицкая¹

¹⁾ Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь,
e-mail: oleshkevich@bsu.by

²⁾ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь, e-mail: etelesh@bsuir.by

Исследовались пленки полиэтилентерефталата разной толщины, имплантированные ионами сурьмы с энергией 60 кэВ и низкими дозами 30 мкКл, 60 мкКл, 100 мкКл и 200 мкКл. Целью работы является изучение влияния ионов сурьмы, имплантированных в пленки полиэтилентерефталата с толщиной 72 мкм и 50 мкм, на их парамагнитные свойства. Проведенные исследования показывают, что с увеличением дозы имплантируемой примеси сурьмы в пленки ПЭТФ есть вероятность образования в имплантируемом слое полимера кластеров сурьмы. Основная особенность проведенных методом ЭПР исследований заключается в экспресс диагностике и простоте оценки кинетики накопления дефектов в полимерной матрице без разрушения модифицированного слоя и самого исследуемого образца.

Ключевые слова: полимеры; электронный парамагнитный резонанс; имплантация ионов; сурьма; пленки полиэтилентерефталата.

INFLUENCE OF ANTIMONY ION IMPLANTATION DOSE ($E = 60$ keV) ON PARAMAGNETISM OF PET FILMS

A. N. Oleshkevich¹, V. B. Odzhaev¹, T. M. Lapchuk¹, E. V. Telesh²,
N. M. Lapchuk¹, N. A. Nikonovich¹, E. I. Klepitskaya¹

¹⁾ Belarusian State University, Nezavisimosti Ave. 4, 220030 Minsk, Belarus

²⁾ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, P. Brovki st. 6,
220013 Minsk, Belarus

Corresponding author: A. N. Oleshkevich (oleshevich@bsu.by)

Polyethylene terephthalate films of different thickness implanted with antimony ions with an energy of 60 keV and low doses of 30 μC , 60 μC , 100 μC and 200 μC were studied. The aim of the work is to study the effect of antimony ions implanted in polyethylene terephthalate films with a thickness of 72 μm and 50 μm on their paramagnetic properties. The studies show that with an increase in the dose of the implanted antimony impurity in PET films, there is a probability of formation of antimony clusters in the implanted polymer layer. The main feature of the studies carried out by the EPR method is the express diagnostics and ease of evaluation of the kinetics of defect accumulation in the polymer matrix without destroying the modified layer and the sample itself.

Key words: polymers; electron paramagnetic resonance; ion implantation; antimony; polyethylene terephthalate films.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач в современных технологиях является разработка и изучение закономерностей направленного синтеза функциональных материалов с необычными и практически важными свойствами. В спектре современных функциональных материалов особое место занимают композитные материалы. Ионная имплантация представляет один из эффективных способов создания композиционных материалов на основе полимеров, позволяющая формировать проводящие слои в диэлектрической матрице [1]. После внедрения атомов примеси в полимер естественными будут процессы образования напряженных областей на границе раздела облученного слоя и исходной матрицы. Контролировать такие процессы на уровне не скомпенсированных спинов атомов в полимерных слоях возможно с помощью метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). ЭПР-спектроскопия является экспресс-диагностикой объектов, которая на несколько порядков по величине чувствительнее оптических методов исследования [2]. Поэтому любые нарушения, созданные имплантацией ионов, например, проводящих структур, будут влиять на параметры спектров ЭПР. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса позволяет избирательно контролировать содержания элементов в одной из нескольких сосуществующих форм, выявлять дефекты кристаллической решетки твердых тел, диагностировать наличие проводящей фазы в образце путем контроля интегральных омических потерь СВЧ резонатора при внесении в него различных объектов, контролировать наличие оборванных химических связей, наблюдать за локализацией электронов на проводящих структурах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами исследовались пленки полиэтилентерефталата (ПЭТФ) разной толщины, имплантированные ионами сурьмы с энергией 60 кэВ и низкими дозами 30 мкКл, 60 мкКл, 100 мкКл и 200 мкКл. Целью работы является изучение влияния ионов сурьмы, имплантированных в пленки ПЭТФ с толщиной 72 мкм и 50 мкм, на их парамагнитные свойства. Во время регистрации сигнала ЭПР образец располагался в центре резонатора Н102 в пучности Н1 компоненты СВЧ поля. Плоскость образца ориентировалась перпендикулярно направлению поляризирующего магнитного поля. Спектры ЭПР имплантированных пленок регистрировались на спектрометре «RadioPan SE/X-2543» с резонатором Н102 в X-диапазоне при комнатной температуре. Максимальная мощность сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитного излучения в резонаторе — 200 мВт. Частота модуляции магнитного поля 100 кГц и амплитуда 0,1 мТл. Частота СВЧ излучения ~ 9,3 ГГц в резонаторе контролировалась частотомером, поляризирующее магнитное поле — датчиком ядерного магнитного резонанса. Для контроля добротности измерительного резонатора, настройки фазы модуляции магнитного поля и калибровки магнитной компоненты СВЧ излучения использовался кристалл рубина, закрепленный на стенке резонатора. Чувствительность спектрометра составляла 3×10^{12} спин/мТл.

В исходной пленке, а также в пленке ПЭТФ, облученной ионами сурьмы с дозой 30 мкКл ($1 \text{ мкКл} = 6 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$) сигнал ЭПР не был обнаружен. Начиная с дозы 60 мкКл в спектре ЭПР облученных пленок появляется одиночная линия, параметры которой меняются в зависимости от дозы облучения. Основные параметры линии ЭПР, которые свидетельствуют о структурных перестройках в процессе модифика-

ции пленок ионным облучением, являются: амплитуда, ширина линии, фактор спектроскопического расщепления, изменение резонансной частоты. Изменение омических потерь в резонаторе при внесении в него исследуемых образцов ПЭТФ контролировалось косвенно по изменению амплитуды эталонного образца рубина, наклеенного на стенку резонатора. Считается, что проводимость пропорциональна СВЧ потерям в образце.

На рисунке 1 приведены спектры ЭПР пленок ПЭТФ, имплантированных ионами сурьмы с энергией 60 кэВ и дозами 60 мкКл/см² (а) и 100 мкКл/см² (б).

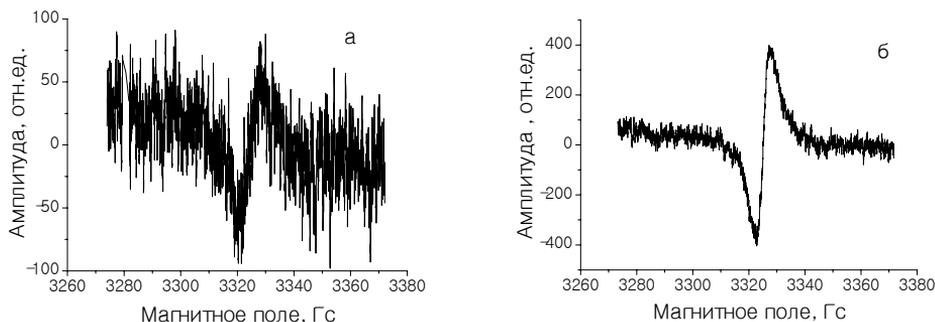


Рис. 1. Спектры ЭПР пленок ПЭТФ, имплантированных ионами сурьмы: а – с энергией 60 кэВ, дозой 60 мкКл/см²; б – 60 кэВ, 100 мкКл/см²

На рисунке 2 представлена зависимость амплитуды и ширины линии спектра ЭПР от дозы имплантируемых ионов сурьмы с $E = 60$ кэВ в пленки ПЭТФ с толщиной 50 мкм и 72 мкм.

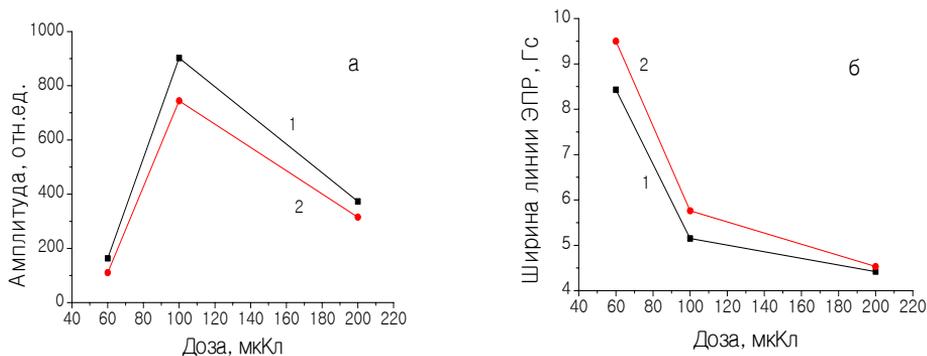


Рис. 2. Зависимость амплитуды (а) и ширины линии (б) спектра ЭПР от дозы имплантируемых ионов сурьмы с $E = 60$ кэВ в пленки ПЭТФ толщиной 72 мкм (1) и 50 мкм (2)

Из рисунка 2, а видно, что при дозе ионов сурьмы 100 мкКл наблюдается максимальная амплитуда сигнала ЭПР, что свидетельствует о том, что при данной дозе ионов в образце накопилось максимальное количество парамагнитных дефектов. При этом ширина линии ЭПР уменьшается почти в два раза. Контролируемая нами амплитуда эталона рубина, как показано на рис. 3, а, при увеличении дозы ионов с 30 мкКл

до 100 мкКл в пленках ПЭТФ увеличивается, что свидетельствует об увеличении добротности резонатора обусловленном увеличением активного сопротивления образцов.

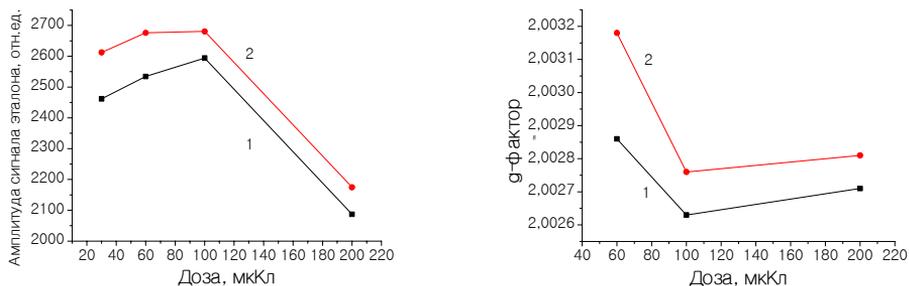


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала ЭПР эталонного образца рубина (а) и g-фактора (б) линии спектра ЭПР исследуемых образцов от дозы имплантируемых ионов сурьмы с $E = 60$ кэВ в пленки ПЭТФ толщиной 72 мкм (1) и 50 мкм (2)

При увеличении дозы имплантации ионов Sb^{+} до 200 мкКл амплитуда сигнала уменьшилась почти в три раза. Контролируемая нами амплитуда эталона рубина так же уменьшилась, что свидетельствует об уменьшении добротности резонатора, вызванном образованием проводящей фазы в обученном слое диэлектрика [3]. При увеличении дозы имплантации ионов сурьмы с 500 мкКл до 2000 мкКл сигналов поглощения в спектрах ЭПР не наблюдалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При исследовании пленок ПЭТФ, имплантированных ионами сурьмы показано, что сигналы ЭПР наблюдались только при дозах имплантируемых ионов – 60, 100 и 200 мкКл. Максимальная интенсивность сигнала ЭПР наблюдалась при дозе 100 мкКл.

2. При увеличении дозы имплантации ионов сурьмы с 500 мкКл до 2000 мкКл сигналов поглощения в спектрах ЭПР не наблюдалось. Обычно, при накоплении дефектов, введенных ионной имплантацией в материал, с увеличением дозы имплантации интенсивность сигнала ЭПР увеличивается. Исчезновение сигнала ЭПР в имплантированных ионами сурьмы пленках ПЭТФ с дозой выше 200 мкКл свидетельствует о том, что модифицированный слой претерпел фазовый переход от полупроводника, обладающего парамагнетизмом (при дозах 60, 100 и 200 мкКл) к диамагнитному состоянию, когда исчезают не спаренные электроны, а с ним и парамагнетизм пленок ПЭТФ.

3. Динамика накопления дефектов в пленках ПЭТФ с толщиной 50 мкм и 72 мкм, как показал сравнительный анализ результатов исследования, одинакова. Отличается только такие параметры, как g-фактор и ширина линии ЭПР, что может быть связано с упругими взаимодействиями ионов сурьмы с пленками ПЭТФ разной толщины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Оджаев В.Б., Козлов И.П., Попок В.Н., Свиридов Д.В. Ионная имплантация полимеров // Мн.: Белгосуниверситет. – 1998. – 197 с
2. Пул Ч., Техника ЭПР спектроскопии. Ч. Пул. – М.: Изд-во Мир, 1970.
3. Родунер, Э. Размерные эффекты в наноматериалах / Э. Родунер. – М.: Техносфера, 2010. – 352 с.