

**ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ЦИНКА, МАГНИЯ И СЕРЕБРА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА**

О.А. Лапут¹, Д.А. Зуза^{1,2}, И.В. Васенина^{1,2},

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.А. Курзина¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3, 634055

E-mail: olesyalaput@gmail.com

**EFFECT OF IMPLANTATION OF ZINC, MAGNESIUM AND SILVER IONS ON SURFACE
PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF POLYVINYL ALCOHOL**

O.A. Laput¹, D.A. Zuza^{1,2}, I.V. Vasenina^{1,2},

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.A. Kurzina¹

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute of High Current Electronics SB RAS Russia, Tomsk, Akademicheskij ave., 2/3, 634055

E-mail: olesyalaput@gmail.com

***Abstract.** In the present work the effects of silver, zinc and magnesium ion implantation with exposure doses of $1 \cdot 10^{15}$ and $1 \cdot 10^{16}$ ion/cm², accelerating voltage of 20 kV, respectively, on polyvinyl alcohol films are investigated. Modification depth was performed using ion range simulation in the TRIDYN software and microhardness through the depth of surface layer study.*

Введение. Поливиниловый спирт (ПВС) относится к классу биоразлагаемых полимеров, который широко применяется в различных областях производства, а также в современной медицине для производства саморассасывающихся хирургических нитей, иммунотолерантных имплантатов, штифтов и др. [1]. Стоит отметить, что объемные свойства полимеров, такие как механические, термические, электрические, а также биосовместимость и биоразлагаемость, в значительной степени зависят от характеристик поверхности [2]. Модификация полимеров методами ионного воздействия является наиболее перспективным методом обработки поверхности, благодаря широкому диапазону режимов ведения процесса. Малая глубина проникновения ионов способствует изменению функциональных свойств поверхности полимера, сохраняя при этом объемные характеристики материала [3]. Актуальным является изучение влияния условий модификации на изменение функциональных свойств поверхности поливинилового спирта. Целью данной работы является исследование влияния модификации ионами серебра, цинка и магния при экспозиционных дозах облучения $1 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16}$ ион/см² на значения пробега данных ионов и изменения микротвердости по глубине поверхностного слоя до и после ионной имплантации.

Экспериментальная часть. Получение образцов ПВС описано в работе [4]. Имплантация ионов Zn¹⁺, Mg^{1.5+}, Ag²⁺ производилась с применением экспериментальной установки, оснащенной источником ионов на основе вакуумного дугового разряда Mevva-5.Ru [5]. Имплантацию проводили до достижения

экспозиционных доз $1 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16}$ ион/см² при ускоряющем напряжении 20 кВ. Энергия имплантируемых ионов определялась произведением ускоряющего напряжения на значение средней зарядности ионов и составляла 20, 30 и 40 кэВ, соответственно. Расчет глубины внедрения ионов осуществляли с помощью симуляции пробега ионов в программном обеспечении TRIDYN. Микротвердость измеряли при помощи нанотвердомера Nanotest 600 в режиме индентирования при изменяющейся нагрузке 0,5; 1; 2; 3 мН и глубине проникновения индентора до 2000 нм.

Результаты. Расчетные значения пробега ионов серебра, магния и цинка в поверхностном слое поливинилового спирта представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Пробег ионов в поливиниловом спирте по результатам расчетов TRIDYN

Ион	Максимум (пик) глубины пробега ионов, нм				Максимальная глубина проникновения ионов, нм	Толщина модифицированного слоя, нм
	Заряд ионов/энергия			Общий пик (средняя энергия)		
	1+ 20 keV	2+ 40 keV	3+ 60 keV			
Ag	30	55	70	50	110	1700
Zn	32	55		32,5	90	550
Mg	50	100		80	165	700

Установлено, что чем меньше масса иона, тем глубже ион проникает в поверхностный слой материала. Тяжелые ионы осаждаются на поверхности. Ионы серебра проникают глубже, чем ионы Zn, несмотря на более высокую атомную массу, поскольку в пучке серебра присутствуют ионы с тремя зарядовыми состояниями: 1+, 2+ и 3+. Ионы с зарядностью 3+ обладают самой высокой энергией, поэтому могут проникать глубже, чем другие материалы.

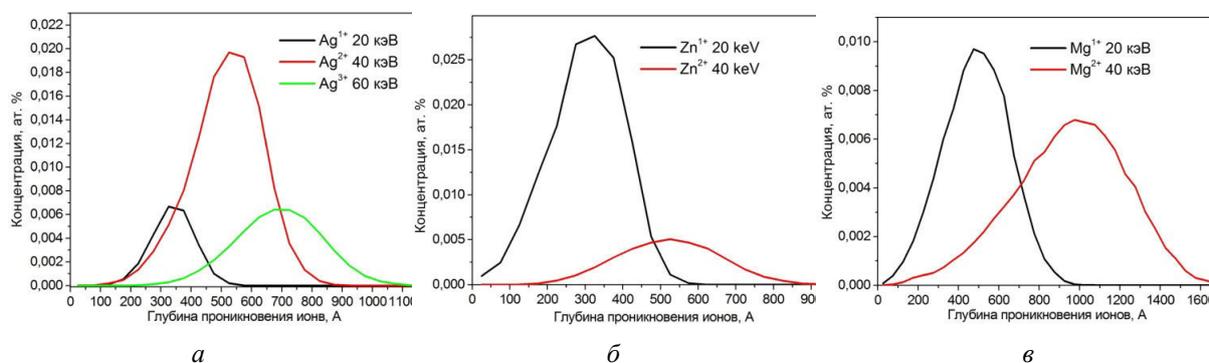


Рис. 1. Проективные пробеги ионов (а) – серебра, (б) – цинка, (в) – магния, рассчитанные с помощью программы компьютерного моделирования TRIDYN

График изменения микротвердости ПВС по глубине поверхностного слоя при изменении нагрузки на индентор (0,5; 1; 2; 3 мН) до и после ионной имплантации показан на рисунке 2. Установлено, что микротвердость исходного образца ПВС уменьшается до 40% на глубине ~800 нм. После обработки ионами серебра микротвердость ПВС уменьшается с повышением нагрузки на индентор, при этом увеличивается глубина проникновения индентора по сравнению с исходным образцом. Минимальной микротвердостью (72 МПа) характеризуется образец, облученный ионами серебра с дозой $1 \cdot 10^{16}$ ион/см², на глубине 1700 нм. После имплантации ионами цинка и магния наблюдается увеличение значений микротвердости поверхности облученного ПВС, при этом с повышением нагрузки на индентор отмечается уменьшение микротвердости. Данный эффект может

объясняется разупрочнением поверхности материала в процессе внедрения индентора. Стоит отметить, что проективный пробег ионов в поливиниловом спирте не превышает 160 нм, а глубина модифицирующего воздействия поверхностной обработки пучками ионов на механические свойства ПВС достигает 1800 нм. Следовательно, в условиях ионной имплантации имеет место эффект дальнего действия вследствие радиационно-стимулированной диффузии и тепловой реструктуризации материала.

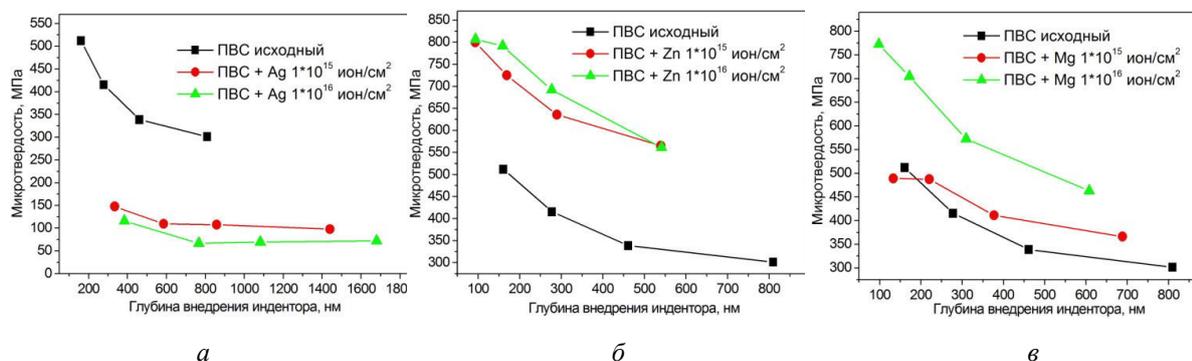


Рис. 2. Микротвердость по глубине поверхностного слоя образцов ПВС после имплантации ионами:
(а) серебра, (б) цинка, (в) магния

Заключение. Таким образом, в данной работе изучено изменение микротвердости ПВС по глубине поверхностного слоя после имплантации ионов серебра, цинка и магния с дозами $1 \cdot 10^{15}$, $1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Установлено, что эффект модификации поверхности ПВС распространяется глубже проективного пробега ионов в материале – до 1-2 мкм, что регистрируется измерениями микротвердости при изменяющейся нагрузке до 50% от значений микротвердости для исходного материала на той же глубине. Следовательно, в условиях ионной имплантации имеет место эффект дальнего действия вследствие радиационно-стимулированной диффузии и тепловой реструктуризации материала.

Данное научное исследование выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штильман М. И. Биоматериалы — важное направление биомедицинских технологий // ВЕСТНИК РГМУ. – 2016. – № 5. – с. 4-15.
2. Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites: Processing, Properties and Applications, Chapter: 2 – Surface modification techniques of biodegradable and biocompatible polymers / G. S. Navinchandra. – Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2018. – P. 438.
3. Kwon H.J., Jung C.H., Kim D.K., Lim Y.M., Kim H.K., Nho Y.C., Choi J.H. Biocompatibility improvement of polytetrafluoroethylene by ion implantation // Journal of the Korean Physical Society. – 2008. – V. 52, № 3. – P. 819-823.
4. Pukhova I.V., Kurzina I.A., Savkin K.P., Laput O.A., Oks E.M. Modification of polyvinyl alcohol surface properties by ion implantation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2017. – V. 399. №15. P. 28–33.
5. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // Review of scientific instruments. – 2012. – V. 83. – P. 02A501.