

**Список литературы:**

1. Голковский М.Г., Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2007. – 325 с.
2. Poletika I.M., Makarov S.A., Krylova T.A., Golkovskii M.G. Using the Cr-C-B systems for alloying metal by in out-of-vacuum electron beam surfacing // *Welding International*. – 2012. – Т. 26. – № 10. – С. 776–781.
3. Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В. Структура и свойства хромсодержащих покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2009. – № 3. – С. 15–22.
4. Борисов Ю.С., Хаскин В.Ю., Войнарович С.Г., Кислица А.Н., Туник А.Ю., Адеева Л.И., Кузьмич-Янчук Е.К., Бернацкий А.В., Сиора А.В. Комбинированная лазерно-микроплазменная наплавка порошками сплавов системы Ni-Cr-B-Si // *Автоматическая сварка*. – 2012. – № 11 (715). – С. 18–24.
5. I. Hemmati, V. Ocelik, K. Csach, J.Th.M. Hosson, Microstructure and phase formation in a rapidly solidified laser-deposited Ni-Cr-B-Si-C hardfacing alloy // *Metall. Mater. Trans. A*. – 2014. – V. 45. – P. 878–892.
6. Drobyaz E., Zimoglyadova T., Gromov V. Electron-beam surfacing wear-resistant coatings, reinforced refractory metal's borides // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – V. 698. – P. 419–423.

**ПОВЫШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ  
КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ РЕЗИНЫ МЕТОДОМ ИМПЛАНТАЦИИ  
ИОНОВ МЕТАЛЛОВ**

*Ю.С. Ращупкина, студент гр. 4Б22*

*И.А. Курзина, д.ф.-м.н., доцент*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

*тел.(913)-115-00-09*

*E-mail: yulia994@list.ru*

**Введение.** Имплантация ионов металлов в поверхности органических полимеров применяется для увеличения их поверхностной проводимости [1], повышения износостойкости [2], придания поверхности бактерицидных свойств [3]. Известны также работы, связанные с имплантацией ионов металлов в эластичные полимеры, которые применяются для создания гибких электродов на основе электроактивных полимеров, например, для электромеханических приводов миниатюрных клапанов [4]. Выбранная для данного исследования кремнийорганическая резина сочетает в себе необходимые свойства для этих применений, такие как эластичность и высокая температурная стойкость [5].

**Материалы и методы исследования.** В качестве материалов ионов, которые были имплантированы в поверхность экспериментальных образцов, применялись следующие металлы: Al, Ti, Cu, Nb, Mo, Ta, Pb. Имплантация производилась в ионном источнике Mevva-5.Ru [6] до достижения экспозиционной дозой значения

$1 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Выбор материала подложки – полимера на основе кремнийорганической резины, обусловлен возможностью уменьшения влияния генерации несвязанного углерода на электропроводящие свойства поверхности.

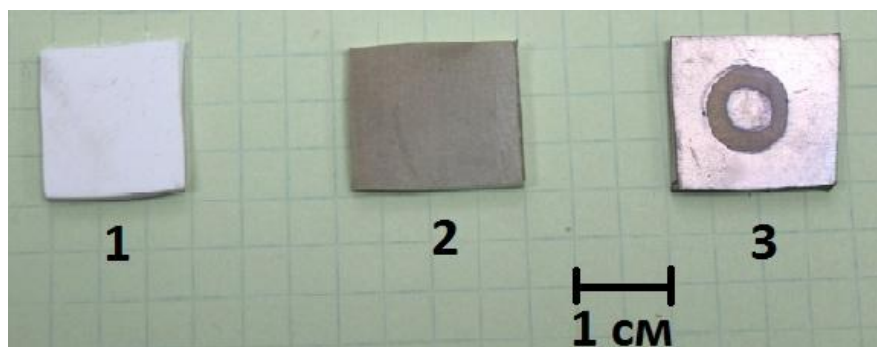


Рис. 1. Фотография экспериментальных образцов кремнийорганической резины: 1 – исходный образец, 2 – образец после имплантации ионов металлов, 3 – образец после имплантации с напыленными медными контактами.

Среди продуктов деструкции полимерных молекул на основе кислородно-кремниевой цепи преобладает диоксид кремния, обладающий более высоким сопротивлением чем графит. Таким образом, предоставляется возможность исследования непосредственного влияния имплантированных атомных частиц металлов на изменение поверхностного сопротивления полимера.

Проверка данного утверждения выполнялась при исследовании зависимости поверхностного сопротивления образцов кремнийорганической резины при имплантации ионов аргона. Поскольку присутствие в приповерхностном слое имплантированных атомов аргона, являющихся элементарными диэлектриками, не может оказывать влияния на увеличение поверхностной проводимости полимерного изолятора, то вполне возможно предположить, что любое уменьшение поверхностного сопротивления должно быть связано с тепловыми эффектами в приповерхностном слое мишени, а именно, с формированием проводимости в приповерхностной области, где происходит диссипация энергии имплантированных ионов, деструкция молекул полимера, и, как следствие, образование структур, содержащих несвязанный углерод. Однако, воздействие непрерывным пучком ионов аргона со средней энергией 50 кэВ и экспозиционной дозой от  $5 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> до  $5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> не вызывало изменений поверхностного сопротивления. Этот экспериментально подтвержденный факт свидетельствует в пользу выбранного модельного материала подложки.

**Результаты эксперимента.** Фотография экспериментальных образцов – исходного, после имплантации и с плёночными медными электродами, осаждёнными методом дугового катодного распыления, представлена на рис. 1.

Зависимости токов утечки от напряжения, приложенного к кольцевым участкам модифицированных поверхностей кремнийорганической резины, представлены на рис. 2, а. Следует отметить, что имплантация ионов титана, алюминия и меди не приводила к заметному увеличению поверхностной проводимости в ходе эксперимента, даже при имплантации доз больших, чем  $1 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>.

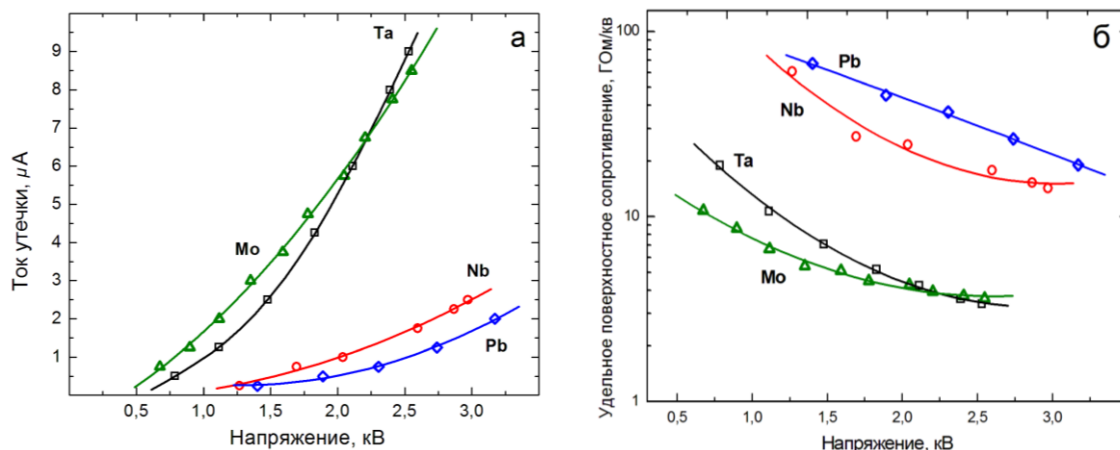


Рис. 2. Зависимость тока утечки от приложенного напряжения (а); зависимость удельного поверхностного сопротивления от напряжения (б).

Как следует из зависимостей, представленных на рис. 2, б, удельное поверхностное сопротивление находится в обратной нелинейной зависимости от прикладываемого напряжения. Подобный характер зависимости поверхностного сопротивления обусловлен совокупностью эффектов, возникающих в приповерхностном слое, обедненном свободными носителями зарядов, а именно: поляризацией диэлектрического материала подложки во внешнем электрическом поле; туннельными переходами электронов между отдельными проводящими доменами, образованными имплантированными атомами металлов, а также переходами на границах контакта медных плёночных электродов и кремнийорганической резины [7].

**Заключение.** В результате проведенных исследований взаимодействия пучков ускоренных ионов металлов с поверхностями изоляторов на основе кремнийорганической резины показано, что в результате обработки кремнийорганической резины ионами металлов с энергиями на уровне нескольких десятков килоэлектронвольт и с экспозиционной дозой порядка  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> происходит увеличение поверхностной электропроводности, позволяющее обеспечить перенос заряда с токами порядка  $10^{-6}$  А.

В дальнейшем планируется продолжение исследований по данной тематике с целью объяснения подобного поведения экспериментальных зависимостей.

### Список литературы:

1. M.C. Salvadori, M. Cattani, F.S. Teixeira, and I.G. Brown. Conducting polymer formed by low energy gold ion implantation // *Appl. Phys. Lett.* – 2008. – V.93.
2. A.G. Nikolaev, K.P. Savkin, G.Yu. Yushkov, E.M. Oks, A. Modification of the Textile Materials by Vacuum Arc Ion Source Implantation // *Proc. Of 10th Int. Conf. On Material Modification with Particle Beams and Plasma flows.* – Tomsk, 2010. – P. 401–404.
3. Kocabas E.E., Gube O., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Nikolaev A.G., Oztarhan M.A. Comparison of antibacterial properties of ion implanted and conventional nanoparticle treated medical textiles // *16th International Conference on Surface Modification of Materials by Ion Beams: Proceedings.* – 2009. – P. 59.

4. Dubois P., Rosset S., Niklaus M., Dadras M. Metal Ion Implanted Compliant Electrodes in Dielectric Electroactive Polymer (EAP) Membranes // *Advances in Science and Technology*. – 2008. – Vol. 61. – P. 18–25.

5. Kawashita M., Araki R., Takaoka G. H. Surface structure and apatite-forming ability of silicone rubber substrates irradiated by cluster ion beams // *Bioceramics*. – 2008. – V. 20. – P. 1–2.

6. A. G. Nikolaev, E. M. Oks, K. P. Savkin, G. Yu. Yushkov, I. G. Brown Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // *Review of scientific instruments*. – 2012. – V.83.

7. Motori A., Montanari G.C., Saccani A., Patuelli F. Electrical conductivity and polarization processes in nanocomposites based on isotactic polypropylene and modified synthetic clay // *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*. – 2007. – V. 45. – P. 705–713.

## О ДИНАМИКЕ ИСТЕЧЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВСТРЕЧНЫХ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ УГЛЕРОДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ

*А.Я. Пак, к.т.н.,*

*И.И. Шаненков, аспирант гр. А4-45,*

*К.Н. Шатрова, студент гр. 5А1Д*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

*тел.(3822)-705-014*

*E-mail: Swordi@list.ru*

**Введение.** Получение ультрадисперсных материалов в высокоскоростных струях электроразрядной плазмы является многообещающим методом [1]. Его достоинством является возможность реализации сверхвысокой скорости охлаждения плазмы порядка  $10^7$  К/с, что позволяет получать редкие метастабильные в том числе, высокотемпературные кристаллические фазы [2-5]. Особый интерес среди них представляют кристаллические модификации нитрида углерода [6-8], которые могут применяться в качестве фотокатализаторов получения водорода из воды [9-14]. Согласно диаграммам состояний [15, 16] и мнения [17] перспективным путем получения гипотетических фаз нитрида углерода является генерация плазмы, содержащей атомы углерода и азота в условиях ограниченного объема и высоких давлений. В настоящей работе предложено решение этого вопроса путем реализации соударения высокоскоростных струй углеродсодержащей электроразрядной плазмы. Струи генерируются сильноточным импульсным коаксиальным магнитоплазменным ускорителем (КМПУ).

**Экспериментальная часть.** Подробно принцип действия ускорителя описан в работе [5]. Электропитание КМПУ1 и КМПУ2 осуществлялось от двух автономных накопителей энергии с  $C_1=C_2=12$  мФ при  $U_{зар}=2,75$  кВ. Расстояние между срезами УК составило  $l_{cc}=83$  мм. Процесс проводился в азотной атмосфере при давлении  $P_0=0,1$  атм. и комнатной температуре.