

УДК 621.382

## ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ДИАЗОХИНОННОВОЛАЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА ФП9120, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ СЕРЕБРА

Бринкевич Д.И.<sup>1</sup>, Просолович В.С.<sup>1</sup>, Черный В.В.<sup>2</sup>, Вабищевич С.А.<sup>3</sup>, Вабищевич Н.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Полоцкий государственный университет

Новополоцк, Республика Беларусь

**Аннотация.** Методом микроиндентирования исследованы пленки позитивного диазохинонноволачного фоторезиста ФП9120 толщиной 1,8 мкм, имплантированные ионами  $\text{Ag}^+$  с энергией 30 кэВ в интервале доз  $2,5 \cdot 10^{16}$ – $1,0 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-2}$  на имплантаторе ИЛУ-3. Сформированный при ионной имплантации  $\text{Ag}^+$  карбонизированный слой подавляет эффект восстановления отпечатка при индентировании. После длительного хранения (более 3 лет) пленка изменяет свои прочностные свойства и ведет себя как твердое (непластичное) тело, что обусловлено сшиванием молекул фенолформальдегидной смолы, снижающим подвижность молекул в условиях внешнего воздействия.

**Ключевые слова:** диазохинонноволачный фоторезист; имплантация; ионы серебра, микроиндентирование, восстановленная микротвердость.

## STRENGTH PROPERTIES OF DIAZOQUINONENOVOLAC PHOTORESIST FP9120 FILMS IMPLANTED WITH SILVER IONS

Brinkevich D.I.<sup>1</sup>, Prosolovich V.S.<sup>1</sup>, Chernyi V.V.<sup>2</sup>, Vabishchvich S.A.<sup>3</sup>, Vabishchvich N.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State University

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus<sup>3</sup> Polotski State University

Novopolotsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Films of positive diazoquinone novolac photoresist FP9120 with a thickness of 1.8  $\mu\text{m}$ , were implanted by  $\text{Ag}^+$  ions with an energy of 30 keV in the dose range of  $2.5 \cdot 10^{16}$ – $1.0 \cdot 10^{17}$   $\text{cm}^{-2}$  on an ILU-3 implanter were studied using the microindentation method. The carbonized layer formed during ion implantation of  $\text{Ag}^+$  suppresses the effect of indentation restoration. After long-term storage (more than 3 years), the film changes its strength properties and behaves like a solid (non-plastic) body, which is due to the cross-linking of phenol-formaldehyde resin molecules, which reduces the mobility of molecules under external influences.

**Key words:** diazoquinone-novolac photoresist; implantation; silver ions, microindentation, restored microhardness.

Адрес для переписки: Просолович В.С., пр. Независимости, 4, г. Минск, 22030, Республика Беларусь  
e-mail: prosolovich@bsu.by

Позитивные диазохинонноволачные фоторезисты (ФР), представляющие собой композит фенол-формальдегидной смолы и светочувствительного агента (О-нафтохинондиазида), широко используются в современной микроэлектронике в качестве масок при ионной имплантации. При ионной имплантации полимерных фоторезистивных пленок на кремнии радиационно-индуцированные процессы приводят к существенным изменениям физико-химических свойств по всей толщине полимерных пленок [1; 2]. В последнее время был опубликован ряд работ [1; 3; 4] по исследованию радиационно-индуцированных процессов в фоторезистивных пленках, имплантированных ионами  $\text{B}^+$ ,  $\text{P}^+$  и  $\text{Sb}^+$  на ионно-лучевом ускорителе барабанного типа «Везувий-б». Однако прочностные свойства имплантированных ионами  $\text{Ag}^+$  на имплантаторе ИЛУ-3 пленок позитивных диазохинонноволачных фоторезистов на

пластинах монокристаллического кремния до настоящего времени не исследованы

**Цель настоящей работы** – исследование прочностных свойств имплантированных ионами  $\text{Ag}^+$  пленок диазохинонноволачного позитивного фоторезиста марки ФП9120.

**Материалы и методы измерений.** Пленки позитивных диазохинон-новолачных фоторезиста ФП9120 толщиной 1,8 мкм наносились методом центрифугирования на поверхность пластин кремния с ориентацией (111). Перед формированием пленки ФР кремниевые пластины подвергали стандартному циклу обработки поверхности в органических и неорганических растворителях. После нанесения фоторезиста на рабочую сторону пластины проводилась сушка при температуре  $\sim 90$  °С.

Имплантация ионами  $\text{Ag}^+$  с энергией 30 кэВ в интервале доз  $\Phi = 2,5 \cdot 10^{16}$ – $1 \cdot 10^{17}$   $\text{см}^{-2}$  в режиме постоянного ионного тока (плотность тока

$j = 4 \text{ мкА/см}^2$ ) проводилась при комнатной температуре в остаточном вакууме не хуже  $10^{-5}$  Па на имплантаторе ИЛУ-3. Во избежание перегрева и деструкции образца в процессе имплантации использовалась кассета, обеспечивающая эффективный сток ионного заряда с поверхности полимера и плотный контакт с металлическим основанием, охлаждаемым водой.

Микроиндентирование проводилось на приборе ПМТ-3 по стандартной методике. Нагрузка на индентор варьировалась в пределах 1–50 г. Длительность нагружения составляла 2 с; выдержка под нагрузкой 5 с. Погрешность измерений микротвердости составляла 2,5 %.

**Эксперимент.** В ФР пленках, измеренных сразу после имплантации, боковые грани отпечатка были вогнуты к центру, что свидетельствует о наличии сильных сжимающих напряжений. Имела место релаксация отпечатка после индентирования, указывающая на упругопластичные свойства ФР пленки. После хранения в течение 3 лет форма отпечатков индентора изменялась. Она становилась квадратной, искажения боковых граней отпечатка были слабо заметны, отсутствовала релаксация при комнатной температуре. После хранения пленка ведет себя как твердое (непластичное) тело.

Имплантация  $\text{Ag}^+$  подавляет эффект восстановления отпечатка при индентировании «свежеизготовленных» ФР пленок, что проявляется как снижение значений восстановленной микротвердости при нагрузках до 5 г, когда индентор не достигает границы раздела ФР/кремний (рисунок 1). Значения восстановленной микротвердости снижались при увеличении дозы имплантации до  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . В диапазоне  $\Phi = (7,5-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  заметных изменений значений восстановленной микротвердости ФР пленки не наблюдалось (рисунок1). Этот экспериментальный результат обусловлен образованием в области пробега ионов  $\text{Ag}^+$  сплошного аморфного карбонизированного слоя, формирование которого заканчивается при дозе  $5,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  [5].

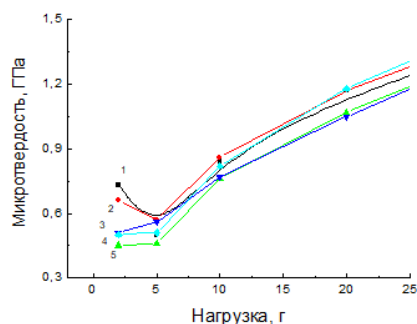


Рисунок 1 – Зависимости восстановленной микротвердости от нагрузки «свежеприготовленных» исходных (1) и имплантированных дозами  $2,5 \cdot 10^{16}$  (2),  $5 \cdot 10^{16}$  (3),  $7,5 \cdot 10^{16}$  (4) и  $1,0 \cdot 10^{17}$  (5)  $\text{см}^{-2}$  пленок фоторезиста

Длительное хранение пленок диазохиноноволачного фоторезиста ФП9120 на кремнии приводит к снижению величины восстановленной микротвердости. Имплантация  $\text{Ag}^+$  подавляет этот эффект (рисунок 2). При хранении неимплантированных пленок значения восстановленной микротвердости снижались почти в 3 раза (с 0,7 до 0,25 ГПа), а в имплантированных образцах изменения были незначительны (до 20–30 %).

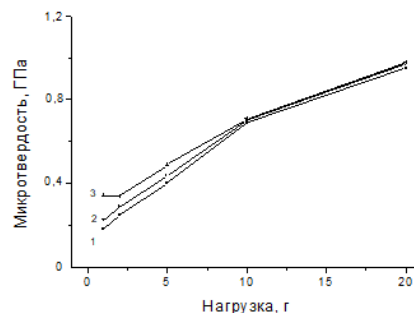


Рисунок 2 – Зависимости микротвердости от нагрузки исходных (1) и имплантированных дозой  $2,5 \cdot 10^{16}$  (2) и  $5,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (3) пленок фоторезиста. Срок хранения 3 года

Полученные экспериментальные результаты объяснены с учетом разложения при хранении фоточувствительного компонента фоторезиста (диазохинона) и последующего сшивания молекул фенолформальдегидной смолы, являющейся основным компонентом ФР [4; 5]. Сшивка снижает подвижность молекул в условиях внешних воздействий и ФР пленка ведет себя как твердое (непластичное) тело. Влияние имплантации  $\text{Ag}^+$  связано с образованием сплошного аморфного карбонизированного слоя,

#### Литература

1. Radiation-stimulated transformation of the reflectance spectra of diazoquinone–novolac photoresist films implanted with antimony ions / A.A. Kharchenko [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2020. – V. 14, № 3. – P. 558–561.
2. Adhesion of irradiated diazoquinone–novolac photoresist films to single-crystal silicon / S.A. Vabishchevich [et al.] // High Energy Chemistry. – 2021. – V. 55, № 6. – P. 495–501.
3. Modification of diazoquinone–novolac photoresist films beyond the region of implantation of  $\text{B}^+$  ions / S.D. Brinkevich [et al.] // High energy chemistry. – 2020. – V. 54, № 5. – P. 342–351.
4. Brinkevich, D.I. Ion implantation in diazoquinone–novolac photoresist / D.I. Brinkevich, S.D. Brinkevich, V.S. Prosolovich // High Energy Chemistry. – 2022. – V. 56, № 4. – P. 270–276.
5. Радиационно-индуцированная модификация спектров отражения пленок диазохиноноволачного фоторезиста при имплантации ионов  $\text{Ag}^+$  / А.А. Харченко [и др.] // Химия высоких энергий. – 2023. – Т. 57, № 6. – С. 1–7.