

ПРОЧНОСТНЫЕ И АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ПОЗИТИВНОГО ФОТОРЕЗИСТА ФП9120, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ СЕРЕБРА

С.А. Вабищевич¹⁾, Н.В. Вабищевич¹⁾, Д.И. Бринкевич²⁾, Ю.Н. Янковский²⁾

¹⁾Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
ул. Блохина 29, Новополоцк 214400, Беларусь, s.vabishchevich@psu.by

²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, brinkevich@bsu.by, Yankouski@bsu.by

Методами индентирования и ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения исследованы пленки диазохинон-новолачного фоторезиста ФП9120 толщиной 1.8 мкм, имплантированного ионами Ag^+ с энергией 30 кэВ в интервале доз $2.5 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ на имплантаторе ИЛУ-3. Установлено, что при имплантации наблюдается возрастание истинной микротвердости пленок фоторезиста, обусловленное формированием сплошного алмазоподобного углеродного слоя в области пробега ионов. Обнаружено возрастание ~ 3 раза величины удельной энергии отслаивания G пленок фоторезиста после имплантации. При длительном хранении имплантированных структур ФР/Si имела место релаксация упругих напряжений вокруг отпечатка индентора.

Ключевые слова: диазохинон-новолачный резист; имплантация; ионы серебра; микроиндентирование; нарушенное полное внутреннее отражение.

STRENGTH AND ADHESION PROPERTIES OF POSITIVE PHOTORESIST FP9120 FILMS IMPLANTED WITH SILVER IONS

S.A. Vabishchevich¹⁾, N.V. Vabishchevich¹⁾, D.I. Brinkevich²⁾, Yu.N. Yankouski²⁾

¹⁾Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,
29 Blokhina Str., 214400 Novopolotsk, Belarus, s.vabishchevich@psu.by

²⁾Belarusian State University,
4 Nezavisimosty Ave., 220030 Minsk, Belarus, brinkevich@bsu.by, yankouski@bsu.by

Films of 1.8 μm thick diazoquinone-novolac photoresist FP9120 implanted with silver ions were studied by indentation method and ATR FT-IR spectroscopy. Implantation with Ag^+ ions with an energy of 30 keV in the dose range of $2.5 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ in the constant ion current mode (current density $j = 4 \mu\text{A/cm}^2$) was carried out at room temperature in a residual vacuum no worse than 10^{-5} Pa on the ILU-3 implanter. It has been established that during implantation, an increase in the true microhardness of the photoresist (FR) films is observed, due to the formation of a continuous diamond-like carbon layer in the range of ions. An increase of ~ 3 times in the specific peel energy G of photoresist films after implantation was found. During long-term storage of the implanted FR/Si structures, the relaxation of elastic stresses around the indenter.

Keywords: diazoquinone-novolac resist; implantation; silver ions; indentation; attenuated total reflection.

Введение

Диазохинонноволачные (ДХН) фоторезисты (ФР), представляющие собой композит фенолформальдегидной смолы и светочувствительного агента (О-нафтохинондиазида), часто используются в современной микроэлектронике в качестве масок при ионной имплантации [1]. При ионной имплантации полимеров радиационно-индуцированные процессы протекают не только в области пробега

ионов, но и за его пределами, что приводит к существенным изменениям физико-химических свойств по всей толщине полимерных пленок [2]. Однако природа радиационно-индуцированных процессов, протекающих за областью пробега ионов, остается мало изученной.

Цель настоящей работы - исследование модификации ДХН фоторезистов марки ФП9120 при имплантации ионами серебра.

Методика эксперимента

Пленки позитивного фоторезиста ФП9120 толщиной 1.8 мкм наносились на поверхность пластин кремния марки КДБ-10 с ориентацией (111) методом центрифугирования при скорости вращения 1800 об/мин. Перед формированием пленки фоторезиста кремниевые пластины подвергали стандартному циклу очистки поверхности в органических и неорганических растворителях. После нанесения ФР на рабочую сторону пластины проводилась сушка в течение 50-55 минут при температуре 88 °С. Толщина пленок фоторезиста контролировалась механическим способом на профилометре «Dectak», при этом отклонения от среднего значения по пластине не превышали 1 %.

Имплантация ионами Ag^+ с энергией 30 кэВ в интервале доз $2.5 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ 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 при комнатной температуре [2]. Нагрузка на индентор варьировалась в пределах 1-50 г. Длительность нагружения составляла 2 с; выдержка под нагрузкой 5 с. При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков.

Результаты и их обсуждение

Отпечатки микроиндентора в пленках ФР имели бочковидную форму (рис. 1), что свидетельствует о наличии растягивающих напряжений, формирующихся при сушке пленки. После индентирования вдоль сторон отпечатка наблюдались навалы (светлые области на рис. 1а), обусловленные выдавливанием материала из-

под индентора. Навалы исчезали после хранения при комнатной температуре в течение 3 лет (рис. 1б). Это является прямым свидетельством релаксации при комнатной температуре упругих напряжений в ФР пленке, возникающих в процессе индентирования.

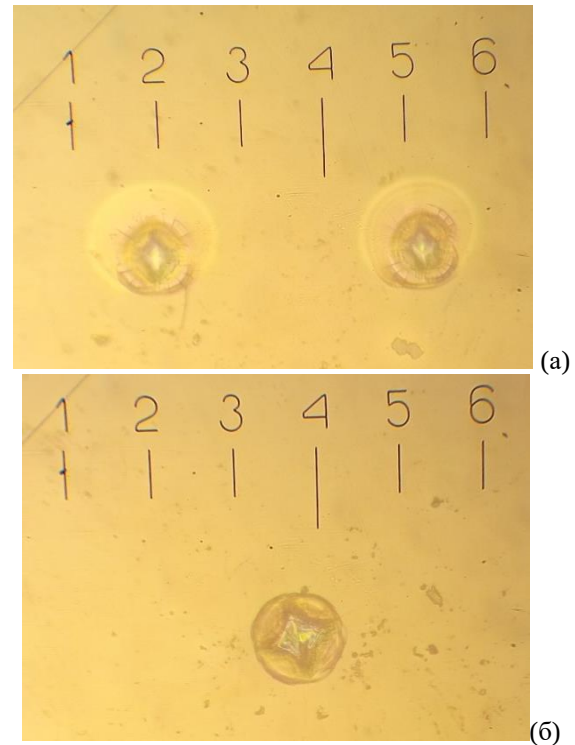


Рис. 1. Микрофотография отпечатков индентора в пленках ФП9120, имплантированных Ag^+ дозой $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ сразу после индентирования (а) и после хранения в течение 3 лет (б). Нагрузка 50 г

Существенное возрастание микротвердости пленки ФР после имплантации наблюдалось при нагрузках 1-2 г, когда индентор не достигает границы раздела ФР/Si (рис. 2). Это обусловлено формированием в области пробега ионов углеродных нанокластеров. Их микротвердость во многом определяется наличием sp^3 -связей (до 80 %) и достигает значений 45-50 ГПа, что более чем на 2 порядка выше, чем микротвердость необлученных полимерных пленок. В проведенных нами экспериментах при нагрузках 1-2 г глубина проникновения индентора составляла 1.0–1.5 мкм, что меньше толщины ФР пленки, но значительно больше проецированного пробега ионов Ag^+ ($R_p = 40 \text{ нм}$) [3]. Таким

образом, вклад в измеряемую микротвердость дает не только созданный имплантацией слой алмазоподобного углерода, но и область полимера за слоем внедрения ионов. Поэтому экспериментально полученные значения микротвердости существенно ниже значений, характерных для алмазоподобных пленок. Формирование сплошного алмазоподобного слоя при имплантации Ag^+ происходит при дозах $(5-10) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

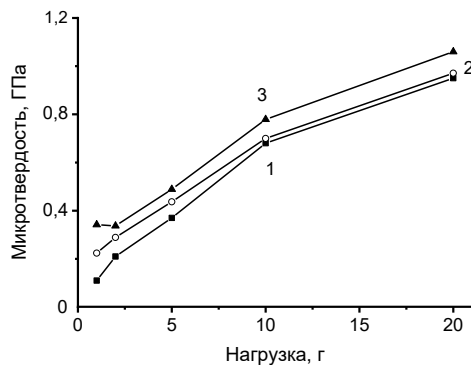


Рис. 2. Зависимости микротвердости пленок ФР от величины нагрузки исходных (1) и имплантированных дозой $2.5 \cdot 10^{16}$ (2) и $1.0 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (3)

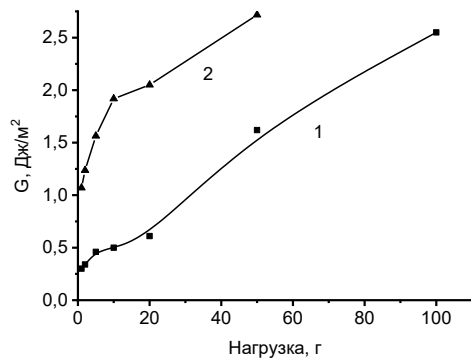


Рис. 3. Зависимости удельной энергии отслаивания G пленок ФР от величины нагрузки для исходных (1) и имплантированных дозой $2.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (2)

Изменение удельной энергии отслаивания G пленок ФР в зависимости от дозы

имплантации отлично от поведения микротвердости. Уже при дозе $2.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ величина G возрастает $\sim$ в 3 раза по сравнению с ее значением в исходной пленке. Увеличение дозы до $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ не приводит к заметным изменениям величины G . Рост удельной энергии отслаивания также наблюдался ранее [2] при имплантации ионов B^+ , P^+ и облучении электронами.

Закключение

При имплантации пленок позитивного фоторезиста ФП9120 ионами Ag^+ с энергией 30 кэВ дозами $> 2.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ наблюдается возрастание истинной микротвердости ФР, обусловленное формированием сплошного алмазоподобного углеродного слоя в области пробега ионов. Обнаружено возрастание $\sim$ в 3 раза величины удельной энергии отслаивания G пленок ФР после имплантации, независящее от дозы. В процессе длительного хранения при комнатной температуре имплантированных структур ФР/Si имела место релаксация упругих напряжений в пленке ФР, возникающих вокруг отпечатка индентора.

Библиографические ссылки

1. Моро У. Микролитография. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. Ч.2. М.: Мир; 1990. 632 с.
2. Вабищевич С.А., Бринкевич С.Д., Вабищевич Н.В., Бринкевич Д.И., Просолович В.С. Адгезия облученных пленок диазохинонноволачного фоторезиста к монокристаллическому кремнию *Химия высоких энергий* 2021; 55(6): 461-468.
3. Бринкевич Д.И., Харченко А.А., Бринкевич С.Д., Лукашевич М.Г., Оджаев В.Б., Валеев В.Ф. и др. Радиационно-стимулированная модификация спектров отражения за область пробега ионов в пленках полиимида *Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед.* 2017; (8): 25-30.