

ФИЗИКА

УДК 546.28: 621.315.592

**ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР ФОТОРЕЗИСТ-КРЕМНИЙ,
γ-ОБЛУЧЕННЫХ И ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ V^+ И P^+** *канд. физ.-мат. наук, доц. С.А. ВАБИЩЕВИЧ, Н.В. ВАБИЩЕВИЧ**(Полоцкий государственный университет);**канд. физ.-мат. наук Д.И. БРИНКЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, доц. В.С. ПРОСОЛОВИЧ,**канд. физ.-мат. наук Ю.Н. ЯНКОВСКИЙ, канд. хим. наук, доц. С.Д. БРИНКЕВИЧ**(Белорусский государственный университет, Минск)*

Методами атомно-силовой микроскопии, склерометрии и индентирования исследованы пленки позитивного фоторезиста ФП9120 толщиной 1,0–5,0 мкм, облученные γ-квантами ^{60}Co и имплантированные ионами V^+ и P^+ . Показано, что в процессе имплантации ионов P^+ происходит модификация морфологии поверхности позитивного фоторезиста, выражающаяся в формировании неравномерно распределенных по поверхности конусообразных структур, которые обусловлены релаксацией напряжений, образовавшихся в процессе изготовления полимерной пленки, и радиационно-химическими процессами в приповерхностном слое фоторезиста. Процессы радиационного упрочнения при ионной имплантации структур фоторезист-кремний протекают далеко за областью проецированного пробега ионов P^+ и V^+ . Полученные экспериментальные результаты объяснены процессами радиационного сшивания молекул полимера за областью пробега ионов, усадкой полимерной пленки и ее карбонизацией в области пробега ионов.

Ключевые слова: *фоторезист, гамма-облучение, ионная имплантация, склерометрия, индентирование, микротвердость.*

Введение. Позитивный фоторезист ФП 9120, который представляет собой композит из светочувствительного О-нафтохинондиазида и фенол-формальдегидной смолы, широко используется в современной полупроводниковой электронике в качестве защитного светочувствительного материала в прецизионных фотолитографических процессах при изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных микросхем [1, 2]. Цель настоящей работы – исследование прочностных свойств пленок фоторезиста ФП9120, подвергнутых высокоэнергетическим воздействиям.

Методика эксперимента. Пленки фоторезиста толщиной от 1,0 до 5,0 мкм наносились на поверхность пластин (диаметр 100 мм) кремния марок КДБ 10, КДБ 0,05, КЭС 0,01 с ориентацией (111) и КДБ 4,5, КДБ 12, КЭФ 4,5 с ориентацией (100) методом центрифугирования. Толщина h пленки фоторезиста определялась скоростью вращения и составляла: 1,0 мкм при скорости вращения $\nu = 8300$ об/мин; ~ 1,8 мкм – при $\nu = 2900$ об/мин; ~ 2,5 мкм – при $\nu = 1200$ об/мин. Пленки толщиной $h = 5,0$ мкм формировались в две стадии с $\nu = 1800$ об/мин на обеих стадиях. Толщина пленок фоторезиста контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 по 5 фиксированным точкам (центр, верх, низ, слева, справа) на каждой пластине, при этом отклонения от среднего значения не по пластине для всех исследуемых образцов (независимо от ориентации и легирования пластины) не превышали 2%, что близко к погрешности измерений.

Исследование прочностных свойств структур фоторезист-кремний проводилось при комнатной температуре на приборе ПМТ-3 методами индентирования и склерометрии. Нагрузка (P) на индентор варьировалась в пределах 1–50 г. Склерометрия осуществлялась царапанием ребром четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием в оправе типа НППМ и углом при вершине $\alpha = 136^\circ$ согласно ГОСТ 9377-81. Скорость движения индентора варьировалась в диапазоне 40–120 мкм/с. Наносилось не менее 7 канавок при фиксированных нагрузке и скорости движения индентора, а затем измерялась их ширина. Значения склерометрической микротвердости $H_{\square}^{\text{скл}}$ вычислялись в соответствии с ГОСТ 21318-75 по средней ширине канавок. Измерения микротвердости $H^{\text{н}}$ методом микроиндентирования проводились этой же пирамидой по восстановленному отпечатку с использованием стандартной методики согласно ГОСТ 9450-76. При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков и проводилась обработка результатов измерений с использованием методов математической статистики по методике, изложенной в [3].

Имплантация ионами фосфора P^+ (энергия 100 кэВ) и бора B^+ (энергия 60 кэВ) в интервале доз (Φ) $5 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ в режиме постоянного ионного тока (плотность ионного тока $j = 4 \text{ мкА/см}^2$) проводилась при комнатной температуре в остаточном вакууме не хуже 10^{-5} Па на ионно-лучевом ускорителе «Везувий-6». Облучение γ -квантами ^{60}Co осуществлялось при комнатной температуре и атмосферном давлении на установке МРХ- γ -25М. Мощность поглощенной дозы составляла $0,360 \pm 0,008 \text{ Гр/с}$. Интервал поглощенных доз (Φ_γ) – от 1 до 300 кГр.

Морфология поверхности фоторезистивной пленки исследовалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме на частоте 145 кГц на приборе Solver P-47. Использовались кантилеверы серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Характерные АСМ изображения поверхности фоторезиста, подвергнутого облучению γ -квантами ^{60}Co и имплантации ионами P^+ , приведены на рисунках 1 и 2. Значения среднеарифметической шероховатости (R_a) усреднялись по результатам не менее чем 10 измерений в различных точках образца. С увеличением дозы γ -квантов R_a слабо возрастала, при этом увеличивалась и дисперсия R_a . При $\Phi_\gamma = 300 \text{ кГр}$ среднеарифметическая шероховатость $R_a = 0,35 \text{ нм}$ при дисперсии $\Delta R_a = 0,2$ (измерения по 11 точкам). Зависимости величины шероховатости от марки кремниевой подложки не было выявлено.

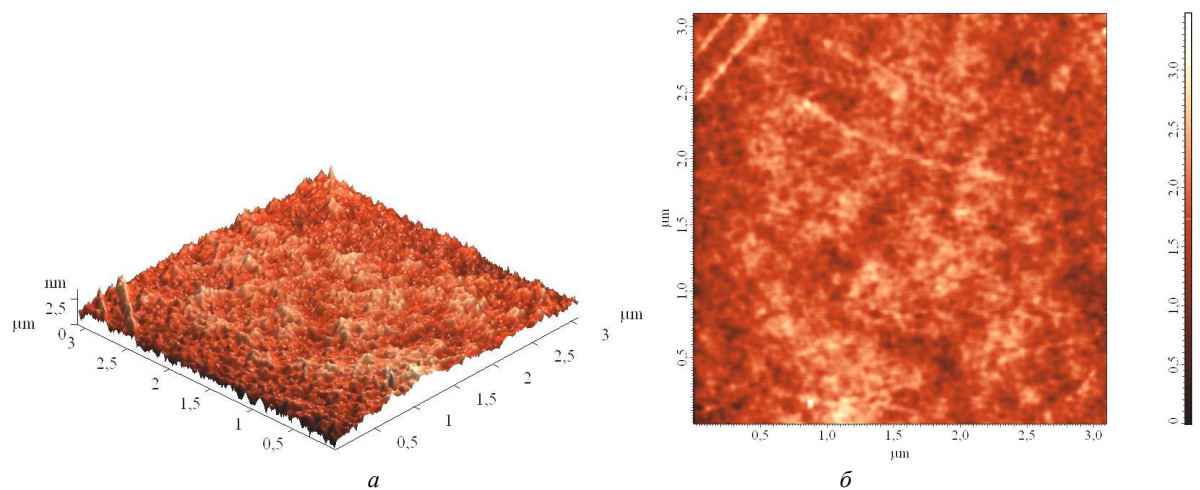


Рисунок 1. – Характерные АСМ изображения поверхности пленки фоторезиста толщиной 1,8 мкм на пластине кремния марки КДБ 12, облученного γ -квантами ^{60}Co дозой 123 кГр, в режимах топографии (а) и фазового контраста (б)

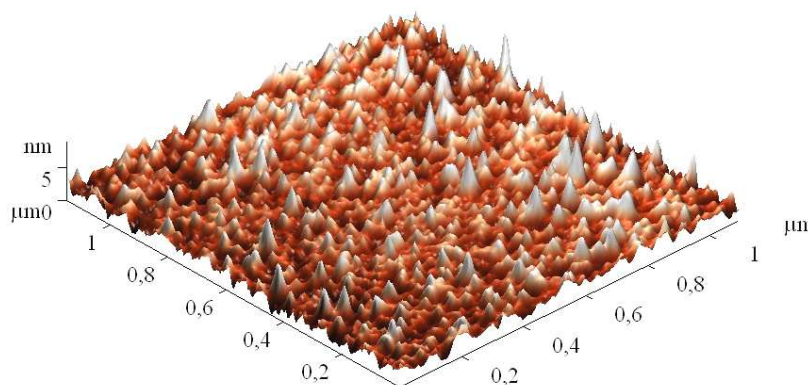


Рисунок 2. – 3D АСМ изображения поверхности пленки фоторезиста толщиной 1,0 мкм на пластине кремния марки КДБ 10 (111), имплантированного ионами P^+ с энергией 60 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

Имплантация ионов P^+ приводит к появлению на поверхности фоторезиста конусообразных структур (рис. 2), которые наблюдались уже на начальных дозах. Конусообразные структуры распределены по поверхности фоторезиста очень неравномерно. Среди них преобладают достаточно крупные структуры с диаметром в основании $\sim 100 - 150 \text{ нм}$ и высотой до $50 - 60 \text{ нм}$. С ростом дозы имплантации размеры ко-

нусообразных структур уменьшаются, а их количество растет. Существенный рост (до 0,9 нм) среднеарифметической шероховатости R_a наблюдался уже при начальной дозе имплантации $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Дальнейшее увеличение дозы имплантации до $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ не приводило к заметному изменению R_a . Аналогичные зависимости наблюдались нами ранее [4] для фоторезистивных пленок, имплантированных ионами V^+ . Наблюдаемые при имплантации изменения морфологии поверхности фоторезиста обусловлены релаксацией напряжений, образовавшихся в процессе изготовления полимерной пленки, и радиационно-химическими процессами в приповерхностном слое фоторезиста [4].

Облучение γ -квантами ^{60}Co приводило к увеличению значений микротвердости H^H , измеренной методом микроиндентирования, при малых нагрузках 2–5 г (рис. 3). При нагрузках свыше 20 г зависимости H^H от дозы облучения выявлено не было. Существенного влияния типа подложки (марки кремния) на прочностные характеристики облученных структур фоторезист-кремний не обнаружено. При нагрузках свыше 10 г в центре отпечатка наблюдается светлый след от проникновения индентора в кремниевую подложку. Облучение не оказывало существенного влияния на его размеры.

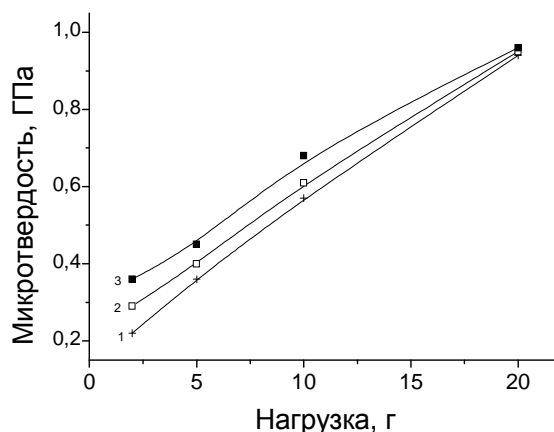


Рисунок 3. – Зависимость микротвердости H^H , измеренной методом индентирования, от нагрузки P для облученных γ -квантами ^{60}Co пленок фоторезиста толщиной 1,8 мкм на пластинах кремния марки КДБ 10 (111). Доза Φ , кГр: 1 – 0; 2 – 6,0; 3 – 45

Склерометрическая микротвердость $H_{\square}^{\text{скл}}$ менее подвержена влиянию облучения, чем H^H (табл. 1). Значения H^H и $H_{\square}^{\text{скл}}$, измеренные при малых нагрузках, сближаются при облучении. Так, если в исходных необлученных пленках при нагрузке 1 г значения H^H были ниже $H_{\square}^{\text{скл}}$ в 4–6 раз, то после облучения разница уменьшалась в примерно 2 раза (см. табл. 1).

Таблица 1. – Микротвердость γ -облученных пленок фоторезиста

Пластины кремния	Толщина пленки фоторезиста	Нагрузка, г	Образец пленки			
			исходный	облученный γ -квантами дозой 10 кГр		
			$H_{\square}^{\text{скл}}$, ГПа	$H_{\square}^{\text{скл}}$, ГПа	H^H , ГПа	Глубина проникновения индентора, мкм
КДБ 12 (100)	1,8	1	0,70	0,74	0,25	0,99
		2	0,42	0,42	0,36	1,89
	2,5	1	0,71	0,88	0,22	0,90
		2	0,50	0,53	0,37	1,70
	5,0	1	0,73	0,77	0,20	1,01
		2	0,56	0,56	0,29	1,69
КЭС 0,01 (111)	1,8	1	0,82	0,90	0,22	0,81
		2	0,59	0,70	0,35	1,42
КДБ 0,005 (111)	1,8	1	0,72	0,76	0,24	0,99
		2	0,47	0,46	0,36	1,86

Отмеченные выше экспериментальные результаты могут быть обусловлены тем, что γ -облучение способствует релаксации упругих напряжений в полимерной пленке, которые растягивают отпечаток

индентора и, соответственно, снижают значения H^H . Отметим, что эти упругие напряжения влияют на измерения склерометрической микротвердости $H_{\square}^{скл}$ в существенно меньшей степени, чем на измерения H^H [5]. С другой стороны, облучение γ -квантами слабо воздействует на прочностные свойства монокристаллического кремния [6], поэтому при больших нагрузках (проникновении индентора в кремниевую пластину) значения H^H и $H_{\square}^{скл}$ не изменяются при увеличении дозы облучения.

При проникновении индентора в кремний наблюдаются отслоения фоторезистивной пленки от кремниевой пластины, появляются растрескивания и «бабочки» вокруг отпечатков и царапин (рис. 4). По их размерам можно судить об адгезии пленки к кремниевой подложке. Наилучшая адгезия прослеживалась на кремнии марок КДБ 12 и КЭФ 4,5 с ориентацией (100), наихудшая – на сильнолегированном кремнии КДБ 0,005 и КЭС 0,01 с ориентацией (111).

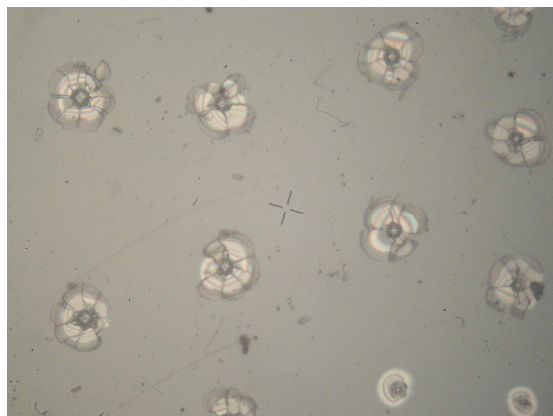


Рисунок 4. – Фотографии отпечатков индентора на пленке фоторезиста толщиной 1,8 мкм, нанесенной на кремний марки КЭФ 4,5. Облучение γ -квантами ^{60}Co дозой 10 кГр. Нагрузка 50 г (увеличение 50х)

В имплантированных ионами бора образцах при малых нагрузках 1–2 г для обоих видов микротвердостей H^H и $H_{\square}^{скл}$ зависимости от дозы имплантации не наблюдается: H^H и $H_{\square}^{скл}$ возрастают (в 1,3 раза по сравнению с исходным) при минимальной исследовавшейся дозе $\Phi = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ и при дальнейшем увеличении дозы имплантации микротвердости практически не изменяются (табл. 2). При имплантации P^+ имело место существенное увеличение $H_{\square}^{скл}$ при дозах $\Phi \geq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (см. табл. 2). Отметим, что значения $H_{\square}^{скл}$, измеренные при малых нагрузках, соответствуют истинной микротвердости фоторезистивной пленки, поскольку кремниевая подложка не оказывает влияния на измерения [5].

Таблица 2. – Склерометрическая микротвердость имплантированных пленок фоторезиста толщиной 1,0 мкм, нанесенных на пластины кремния марки КДБ 10 (111)

Ион	Нагрузка, г	$H_{\square}^{скл}$, ГПа, для доз облучения				
		Исходный	$\Phi = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$	$\Phi = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$	$\Phi = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$	$\Phi = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$
B^+	1	0,60	0,75	0,76	0,77	0,75
	2	0,57	0,68	0,74	0,74	0,73
P^+	1	0,59	0,61	0,64	0,91	1,24
	2	0,61	0,66	0,59	0,82	1,15

При ионной имплантации в отличие от γ -облучения наблюдается рост H^H при больших нагрузках (свыше 10 г), когда индентор проникает в кремниевую подложку (рис. 5, 6). Причем указанный эффект присутствует при дозах имплантации $\Phi \geq 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ как для ионов B^+ , так и для ионов P^+ . При $\Phi < 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ существенных различий от исходного необлученного образца в зависимостях $H^H(P)$ при нагрузках свыше 10 г не выявлено (рис. 5, 6). Вероятнее всего, наблюдавшееся возрастание значений H^H при нагрузках свыше 10 г обусловлено упрочнением полимерной пленки вблизи границы раздела фотополимер-кремний. Об этом свидетельствует тот факт, что при нагрузках свыше 100 г, когда основной вклад в микротвердость исследуемой структуры начинает вносить кремний, значения H^H во всех исследовавшихся образцах сближаются (см. рис. 5, 6).

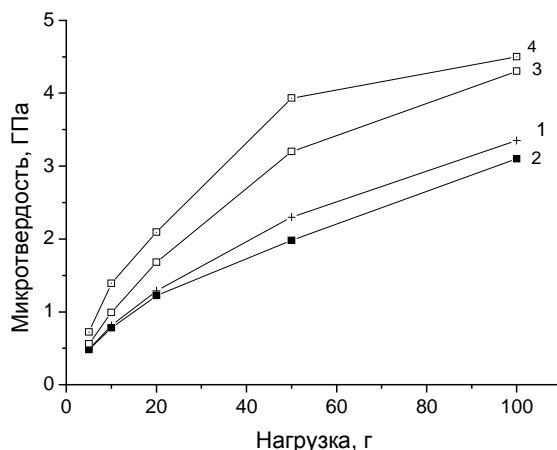


Рисунок 5. – Зависимость микротвердости H^H , измеренной методом индентирования, от нагрузки для имплантированных ионами бора пленок фоторезиста толщиной 1,0 мкм на пластинах кремния марки КДБ 10 (111). Доза имплантации Φ , см⁻²: 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^{14}$; 3 – $1 \cdot 10^{15}$; 4 – $1 \cdot 10^{16}$

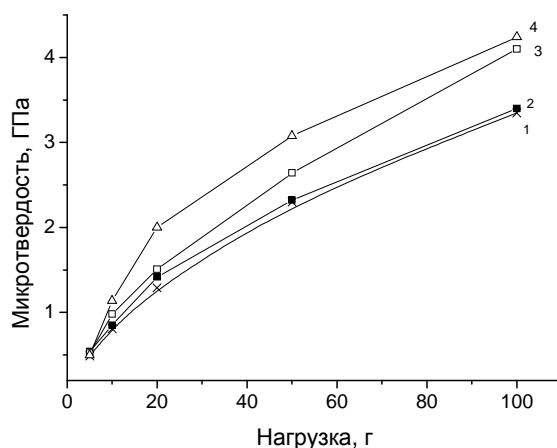


Рисунок 6. – Зависимость микротвердости H^H , измеренной методом индентирования, от нагрузки для имплантированных ионами фосфора пленок фоторезиста толщиной 1,0 мкм на пластинах кремния марки КДБ 10 (111). Доза имплантации Φ , см⁻²: 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^{14}$; 3 – $1 \cdot 10^{15}$; 4 – $1 \cdot 10^{16}$

Приведенные экспериментальные данные указывают на то, что процессы радиационного дефектообразования при ионной имплантации структур фотополимер-кремний протекают далеко за областью проецированного пробега ионов P^+ и B^+ , причем при имплантации ионов бора указанный эффект более выражен.

Необходимо также отметить, что эффект радиационного упрочнения наблюдается на глубинах существенно превышающих пробег ионов уже при минимальной дозе имплантации ($5 \cdot 10^{14}$ см⁻³). Это позволяет предполагать, что эффект упрочнения не связан с формированием нанокompозита или с карбонизацией полимера в области торможения ионов. Он может быть обусловлен процессами радиационного сшивания молекул полимера за областью пробега ионов [7, 8].

С другой стороны, широко известно [8–10], что при высокоэнергетическом облучении полимеров наблюдается интенсивный выход газообразных продуктов (H_2 , CO , CH_4 и т.д.). В области пробега ионов число смещенных атомов велико, структура полимера должна разрушаться, и вследствие интенсивного газовыделения в этом слое остаются преимущественно атомы углерода [10]. Наблюдается усадка полимера в области пробега ионов, что приводит к формированию на ее границе упругих напряжений. Эти упругие напряжения приводят к короблению полимерных пленок, что наблюдалось нами при имплантации тонких (40 мкм) пленок полиимида и полиэтилентерефталата [6]. Наличие упругих напряжений может приводить к упрочнению структуры. Кроме того, усадка полимера и, соответственно, снижение толщины полимерной пленки приводит к увеличению вклада кремния в микротвердость структуры фоторезист-кремний, что проявляется как увеличение значений H^H при нагрузках свыше 10 г.

Карбонизация полимерной пленки в области пробега ионов также должна приводить к увеличению значений H^H и $H_{\square}^{скл}$, измеренных при малых (1–2 г) нагрузках. Микротвердость алмазоподобных

углеродных пленок достигает 45–50 ГПа [11], что более чем на 2 порядка выше, чем микротвердость исходных (необлученных) полимерных пленок. Однако толщина карбонизированного слоя не превышает 5% толщины полимерной пленки. Поэтому увеличение измеряемых значений H^m и $H_{\square}^{скл}$ при малых (1–2 г) нагрузках не столь выражено.

Изменение свойств полимера на глубинах, значительно превышающих проецируемый пробег ионов, невозможно объяснить эмиссией вторичных электронов, образующихся при электронном торможении имплантируемых ионов, поскольку они не способны модифицировать полимер на глубине, существенно превышающей 0,1 мкм. В органических резистах эмиссия вторичных электронов очень мала и ограничена областью в ~ 10 нм [1].

Увеличение микротвердости (как H^m , так и $H_{\square}^{скл}$) фоторезиста в процессе высокоэнергетического воздействия обусловлено химической модификацией структуры полимера, в частности образованием сшивок между макромолекулами полимера. Радиационное сшивание макромолекул полимеров, протекающее по свободнорадикальному механизму, является хорошо исследованным процессом и широко применяется для модификации механических свойств полимерных материалов [8, 12]. Однако в условиях ионной имплантации сложно ожидать реализации свободнорадикальных процессов на глубинах, значительно превышающих проецируемый пробег ионов и выбиваемых ими электронов, поскольку миграция радикалов в матрице полимеров затруднена.

Прямое воздействие ионов на полимер, а также нейтрализация разноименно заряженных ионов и рекомбинация свободных радикалов в треке иона приводит к образованию молекул в возбужденном состоянии. В отличие от диффузии радикалов перенос возбуждения может происходить на значительные расстояния вглубь полимера. По данным [13], энергия возбуждения может передаваться в полимере на расстояние более 1000 мономерных звеньев. Поэтому образование сшивок в объеме фоторезиста, обеспечивающее увеличение микротвердости, должно происходить в реакциях с участием возбужденных частиц. Еще одним механизмом упрочнения полимера в условиях имплантации может быть образование сшивок между макромолекулами полимера по свободнорадикальному (гомолитическому) механизму. Известно, что свободные радикалы могут образовываться при распаде возбужденных частиц [12]. Однако важно отметить, что для гомолитического разрыва химической связи необходимо затратить энергию, которая как минимум в 1,5–2 раза превышает энергию, необходимую для образования кетена из орто-нафтохинондиазида и последующего образования эфирных сшивок. Поэтому свободнорадикальный механизм образования сшивок нам кажется значительно менее вероятным.

Не следует также исключать возможность воздействия на физико-механические свойства фоторезиста наведенного в его объеме, и в особенности у границы раздела фотополимер-кремний, заряда, созданного облучением заряженными частицами [14, 15]. Наведенный в полимере заряд может также модифицировать свойства приповерхностных слоев монокристаллического кремния (плотность поверхностных состояний, область объемного заряда и т.д.).

Заключение. Таким образом, показано, что в процессе имплантации ионов P^+ происходит модификация морфологии поверхности позитивного фоторезиста, выражающаяся в формировании неравномерно распределенных по поверхности конусообразных структур, которые обусловлены релаксацией напряжений, образовавшихся в процессе изготовления полимерной пленки, и радиационно-химическими процессами в приповерхностном слое фоторезиста. Процессы радиационного упрочнения при ионной имплантации структур фоторезист-кремний протекают далеко за областью проецированного пробега ионов P^+ и V^+ , причем при имплантации ионов бора указанный эффект более выражен. Полученные экспериментальные результаты объяснены процессами радиационного сшивания молекул полимера за областью пробега ионов по свободнорадикальному (гомолитическому) механизму, усадкой полимерной пленки и ее карбонизацией в области пробега ионов, а также воздействием на физико-механические свойства фоторезиста, заряда, созданного облучением заряженными частицами.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (договор № Ф16-151 от 20.05.2016 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Моро, У. Микролитография. Принципы, методы, материалы : в 2 ч. / У. Моро – М. : Мир, 1990. – Ч. 2. – 632 с.
2. Photoimageable nozzle members and methods relating thereto : pat. US8173031 / S. T.Weaver, R. Wells ; publ. date : 8.05.2012.
3. Бринкевич, Д. И. Микромеханические свойства эпитаксиальных слоев GaP, легированных редкоземельным элементом диспрозием / Д. И. Бринкевич, Н. В. Вабищевич, В. С. Просолович // Неорганические материалы. – 2012. – № 8, Т. 48. – С. 878–883.
4. Модификация поверхности позитивного фоторезиста при ионной имплантации / Д. И. Бринкевич [и др.] // Микроэлектроника. – 2015. – № 6, Т. 44. – С. 448–452.

5. Склерометрический метод измерения микротвердости пленок фоторезиста на кремнии / Д. И. Бринкевич [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2016. – № 1, Т. 7. – С. 77–84.
6. Вабищевич, С. А. Подавление радиационного упрочнения кремния, легированного германием / С. А. Вабищевич, Н. В. Вабищевич, Д. И. Бринкевич // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 12–14.
7. Кинг, Р. В. Полимеры. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем / Р. В. Кинг, Н. Дж. Бродвей, Р. А. Майер. – М. : Атомиздат, 1967. – С. 49–114.
8. Грасси, Н. Деструкция и стабилизация полимеров / Н. Грасси, Дж. Скотт. – М. : Мир, 1988. – 246 с.
9. Спектры ЭПР алмазоподобных и облученных ионами полимерных углеродных пленок / В. В. Сухоруков [и др.] // Поверхность. – 1991. – № 5. – С. 92–96.
10. Экспериментальные методы химии высоких энергий / под общ. ред. М. Я. Мельникова. – М. : МГУ, 2009. – 824 с.
11. Рудченко, С. О. Влияние условий синтеза на структуру и свойства алмазоподобных углеродных пленок для ФЭП / С. О. Рудченко, В. Е. Пуха, В. В. Стариков // Вісник ХНУ. – 2012. – № 16. – С. 89–93.
12. Пикаев, А. К. Современная радиационная химия. Твердое тело и полимеры. Прикладные аспекты / А. К. Пикаев. – М. : Наука, 1987. – 448 с.
13. Светочувствительные полимерные материалы / под ред. А. В. Ельцова. – Л. : Химия, 1985. – 296 с.
14. Объемный разряд в диэлектрических материалах космических аппаратов при облучении электронами и протонами / Ф. И. Акишин [и др.] // Перспективные материалы. – 2009. – № 3. – С. 12–16.
15. Комплексные исследования эффектов зарядки полимерного резиста (ПММА) при электронной литографии / Э. И. Рау [и др.] // Микроэлектроника. – 2013. – № 2, Т. 42. – С. 116–126.

Поступила 07.09.2016

STRENGTH PROPERTIES OF PHOTORESIST-SILICON STRUCTURES, Г-IRRADIATED AND IMPLANTED BY B⁺ AND P⁺ IONS

S. VABISHCHEVICH, N. VABISHCHEVICH, D. BRINKEVICH,
V. PROSOLOVICH, Y. YANKOVSKI, S. BRINKEVICH

Films of the FP-9120 positive photoresist thickness of 1,0 – 5,0 microns irradiated with γ -rays ^{60}Co and implanted by B⁺ and P⁺ ions was investigated by the atomic force microscopy, sclerometry and indentation methods. It was shown that cone-shaped structures are formed on the surface of FP9120 positive photoresist in the process of ion implantation. These structures are uniformly distributed over the surface of the photoresist. They are due to the relaxation stresses formed during manufacture of the polymer film, and radiation-chemical processes in the surface layer of the photoresist. Radiation hardening of photoresist-silicon structures at ion implantation flow far beyond the range of P⁺ and B⁺ ions. These experimental results to explain the process of radiation cross-linking of polymer molecules far the range of ions, shrinkage of the polymer film and its carbonization in the range of ions.

Keywords: photoresist, gamma-irradiation, ion implantation, sclerometry, indentation, microhardness.