

нашему мнению, причиной данного эффекта является то, что под действием ультразвука происходит разрушение или модификация (перестройка) протяженного дефекта, находящегося в области перехода. Обнаружено, что в случае стабилизации ВАХ ультразвуковой обработкой энергетическая эффективность может существенно возрасть.

1. Рабинович, О.И. Моделирование электрических и оптических характеристик светоизлучающих диодов на основе многокомпонент-

ных гетероструктур AlGaInN: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.10 / О.И. Рабинович; Рос. технолог. ун-т. – М., 2008. – 28 с.

2. Наими, Е.К. Влияние ультразвуковой вибрации на деградацию светоизлучающих диодов на основе InGaN / Е.К. Наими, С.Г. Никифоров, О.И. Рабинович, В.П. Сушков // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2009, № 1. – С. 86–92.

УДК 681

ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ПЛЕНОК ФОТОРЕЗИСТА НА КРЕМНИИ ПРИ γ -ОБЛУЧЕНИИ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Бумай Ю.А.², Бринкевич Д.И.¹, Харченко А.А.¹, Лукашевич М.Г.¹,
Прасолович В.С.¹, Оджаяев В.Б.¹, Янковский Ю.Н.¹

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ионная имплантация широко применяется в современной полупроводниковой микро- и нанoeлектронике. Повышение степени интеграции предъявляет высокие требования к блоку операций, обеспечивающих маскирование ионного пучка. В качестве масок в процессах субмикронной и нанолитографии важную роль играют диазохинон-новолачные (ДХН) резисты [1]. Взаимодействие ДХН-резистов с дальним ультрафиолетом, рентгеновским и видимым излучением исследовано достаточно подробно. Однако влияние ионной имплантации и γ -облучения на свойства указанных материалов изучено недостаточно, хотя протекающие в резистах процессы радиационного дефектообразования могут оказывать существенное влияние на качество создаваемых приборов. Целью настоящей работы являлось изучение влияния высокоэнергетического воздействия на спектры отражения пленок диазохинон-новолачного резиста марки ФП9120.

Пленки позитивного фоторезиста ФП9120 толщиной 1,8 мкм наносилась на поверхность пластин кремния марки КДБ-10 (111) методом центрифугирования при скорости вращения 1800 об/мин. Толщина пленок фоторезиста контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 и механическим способом на профилометре «Dectak». Имплантация ионами Ag⁺ и Sb⁺ с энергией 30 – 60 кэВ в интервале доз 1·10¹⁵–6·10¹⁷ см⁻² в режиме постоянного ионного тока (плотность ионного тока $j = 4$ мкА/см²) проводилась при комнатной температуре в остаточном вакууме не хуже 10⁻⁵ Па на имплантаторах ИЛУ-3 и «Везувий-6». Во избежание перегрева и деградации образца в процессе имплантации на ИЛУ-3 использовалась кассета, обеспечивающая эффективный сток ионного заряда с поверхности полимера и плотный контакт пленок с металли-

ческим основанием, охлаждаемым водой. Облучение осуществлялось γ -квантами ⁶⁰Со при комнатной температуре и атмосферном давлении на установке МРХ- γ -25М. Мощность поглощенной дозы составляла 0.36 ± 0.008 Гр/с. Интервал поглощенных доз 6 – 200 кГр.

Спектры отражения регистрировались в области прозрачности пленки в диапазоне $\lambda = 210$ –1100 нм однолучевым спектрофотометром PROSKAN MC-122 при комнатной температуре с разрешением не хуже 1 нм. Углы падения и отражения света при всех измерениях составляли 25° к нормали. Калибровка спектров отражения проводилась прибором автоматически по интенсивности пропускания диафрагмы. Согласно измерениям методом атомно-силовой микроскопии рельеф поверхности пленки был достаточно гладкий; средняя арифметическая шероховатость R_a поверхности пленки не превышала 2 нм.

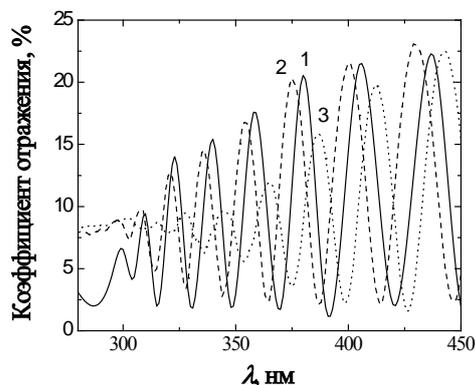


Рис. 1 - Спектральные зависимости коэффициента отражения исходной (1) и γ -облученных (2,3) фоторезистивных пленок на кремнии. Доза, кГр: 1 – 0; 2 – 6; 3 – 2900

В спектрах отражения необлученных полимерных пленок в области прозрачности наблюдались интерференционные полосы (рис.1). γ -облучение приводило к смещению интерференционных максимумов и изменению расстояния между ними.

При ионной имплантации, кроме того, снижается интенсивность полос интерференции в высокоэнергетической области $\lambda = 300-500$ нм (рис.2а). Причем при дозе $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² в спектре отражения наблюдаются только две интерференционные полосы (рис.2б). Этот эффект обусловлен смещением края поглощения пленки в низкоэнергетическую область при ионной имплантации.

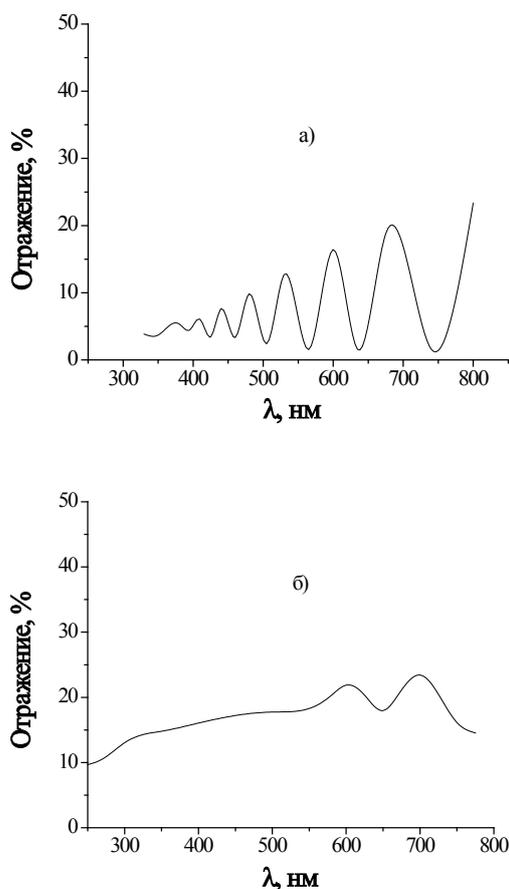


Рис. 2 – Спектральные зависимости коэффициента отражения фоторезистивных пленок на кремнии, имплантированных ионами Sb^+ . $E = 60$ кэВ. Доза Φ , см⁻²: а - $1 \cdot 10^5$; б - $5 \cdot 10^{16}$

Спектральные зависимости, представленные на рис.3, рассчитывались по формуле

$$2d \langle n \rangle = \left(\frac{1}{\lambda_m} - \frac{1}{\lambda_{m-1}} \right)^{-1}$$

Поскольку толщина пленки d при γ -облучении не изменяется, то на рис.3 отражена зависимость

показателя преломления пленки n от средней для двух соседних максимумов длины волны. Зависимости для всех образцов выглядят как нормальные дисперсии $dn/d\lambda < 0$. В области ближнего ультрафиолета показатель преломления исследуемых образцов резко возрастает.

В видимой области (свыше 400 нм) наблюдается существенное отличие в поведении величины оптической длины ($2dn$) от вида и дозы облучения. При γ -облучении происходит увеличение оптической длины ($2dn$), что может быть обусловлено ростом показателя преломления слоя (кривые 2, 3 рис.3). При увеличении дозы облучения этот эффект усиливается. При ионной имплантации происходит снижение $2dn$, что может быть обусловлено усадкой (уменьшением толщины) модифицированного слоя. Она обусловлена удалением газообразных продуктов радиолитического распада (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 и т.д.), образующихся при ионной имплантации [2]. Причем эффект усадки полимерного слоя существенно перекрывает возрастание показателя преломления в аморфизированном имплантацией слое.

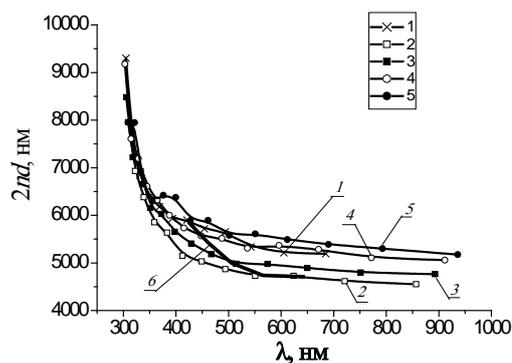


Рис. 3 – Спектральные зависимости оптической длины ($2nd$) исходного фоторезиста (1); имплантированного ионами серебра дозой $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² (2) и $5 \cdot 10^{17}$ см⁻² (3); облученного γ -квантами дозой 6 кГр (4) и 2900 кГр (5); имплантированного Sb^+ дозой 10^{15} см⁻² (6)

Таким образом показано, что облучение γ -квантами ^{60}Co приводит к увеличению показателя преломления фоторезиста в диапазоне длин волн 400-900 нм. При ионной имплантации основной вклад в изменение оптической длины вносит усадка полимерного слоя, существенно перекрывающая рост показателя преломления.

1. Моро, У. Микролитография. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. Ч.2./ У. Моро – М.: Мир, 1990. – 632 с.
2. Экспериментальные методы химии высоких энергий / Под общ. Ред. М.Я. Мельникова. – М.: МГУ, 2009. – 824