

- L. Reggiani // J. Appl. Phys. – 2005. – Vol. 97. – P. 043709-1–043709-8.
5. Gonzalez, T. Monte Carlo simulation of noise in electronic devices: limitations and perspectives / T. Gonzalez [et al.] // Unresolved Problems of Noise and Fluctuations: UPoN 2002: Third International Conference. – 2003. – Vol. CP665. – P. 496–503.
 6. Muscato, O. Electrothermal Monte Carlo validation of a hydrodynamic model for sub-micron silicon devices / O. Muscato, V. Di Stefano // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. – Vol. 193. – P. 1–4.
 7. Борздов, В.М. Оценка эффективной пороговой энергии межзонной ударной ионизации в глубокосубмикронном кремниевом p-канальном МОП-транзисторе / В.М. Борздов [и др.] // Микроэлектроника. – 2014. – Т. 43, № 3. – С. 188–192.
 8. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц: пер. с англ / Р. Хокни, Дж. Иствуд. – М.: Мир, 1987. – 640 с.
 9. Ridley, В.К. Soft-threshold lucky drift theory of impact ionization in semiconductors / В.К. Ridley // Semiconductor Science and Technology. – 1987. – No. 22. – P. 116–122.
 10. Борздов, А.В. Моделирование методом Монте-Карло влияния ударной ионизации на ВАХ и флуктуации тока в кремниевом диоде со структурой p⁺-n-p⁺ / А.В. Борздов, В.М. Борздов, В.В. Буслюк // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. трудов VI Международной научной конференции, Минск, 8–9 Октября 2014. – Минск: БГУ, 2014. – С. 40–43.

УДК 621.382

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОМОЩНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ

Бумай Ю.А.¹, Бобученко Д.С.¹, Трофимов Ю.В.², Цвирко В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Ультразвуковое воздействие на светоизлучающие диоды (СИД), вызывающее интенсивные механические колебания во всех их элементах, может быть использовано для выявления потенциально ненадежных приборов. В кристаллах СИД оно может вызывать образование точечных дефектов структуры, протяженных дефектов – дислокаций и их миграцию. Проведена обработка ультразвуком (180 кГц, ~12 Вт, до 122 часов) InGaN/GaN СИД фирмы Nichia (NSPB510S) синего свечения. В соответствии с рисунком 1 для данных СИД наблюдались достаточно сильные изменения вольтамперных характеристик (ВАХ), измеренных в режиме стабилизации тока.

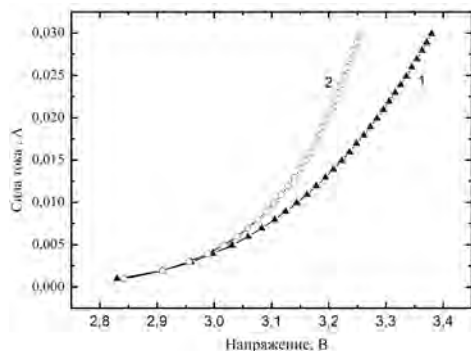


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика СИД № 7 до (1) и после (2) ультразвуковой обработки в течение 90 часов

На первой стадии обработки наблюдалось смещение прямой ветви ВАХ в сторону более низких напряжений смещения. На рисунке 2 приведена зависимость прямого напряжения СИД № 7 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. В течение первых 40 часов (временной интервал 1) на пьезокерамике, генерирующей ультразвук, находилась эпоксидная линза СИД. Снижение напряжения проходило со скоростью 0,46 мВ/час. После этого периода на пьезокерамике располагались электроды СИД. Снижение напряжения проходило с большей скоростью 2,75 мВ/час. В результате на протяжении следующих 50 часов ультразвуковой обработки (временной интервал 2) наблюдалось уменьшение прямого напряжения на 120 мВ. После 90 часов обработки (область 3) наблюдались колебания ВАХ, а через 122 часов произошел пробой СИД. ВАХ СИД стала линейной, сопротивление составило 20 Ом.

При этом необходимо отметить отсутствие временных нестабильностей ВАХ обработанных ультразвуком СИД, они достаточно точно воспроизводились при повторных измерениях через сутки (т.е. колебания напряжения СИД со временем обработки являлись объективными). Возможной причиной такого поведения является то, что под действием ультразвука происходит

разрушение или модификация (перестройка) протяженного дефекта, находящегося в области перехода и способного шунтировать переход, возможно приводя к локальному нагреву, который еще больше должен снижать прямое напряжение.

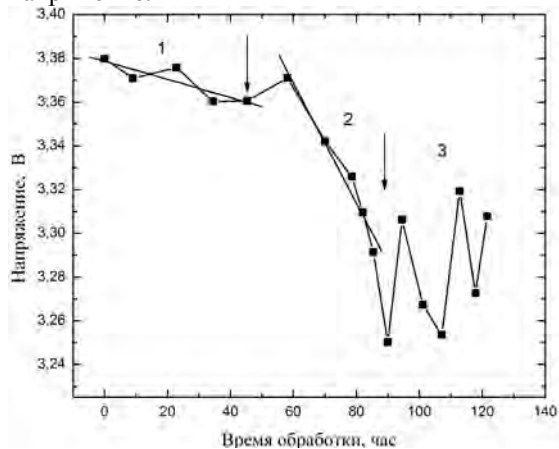


Рисунок 2 – Зависимость прямого напряжения СИД № 7 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. Интервалы времени обработки ультразвуком: 1 – 40 часов; 2 – 40–90 часов; 3 – 90–122 часов

На рисунке 3 приведена зависимость прямого напряжения СИД № 14 на токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки, проводившейся в течение 41 часа (на пьезокерамике располагались электроды СИД). В временном интервале 1 скорость изменения напряжения составляет 2,3 мВ/час (приблизительно как у СИД №7). После 10 часов обработки (временной интервал 2) происходят наиболее сильные изменения напряжения (на 120 мВ) причем с высокой скоростью 10,3 мВ/час. Однако после 23 часов (временной интервал 3) наступило увеличение напряжения и некоторая его стабилизация. ВАХ образца стала близкой к исходной.

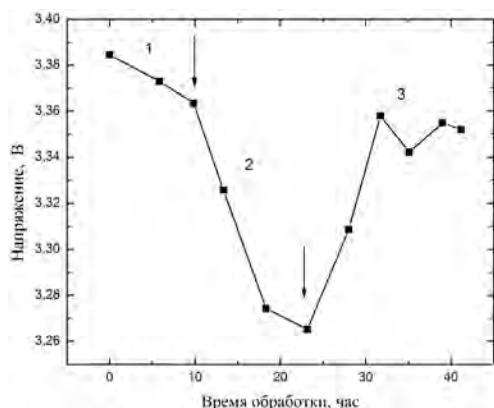


Рисунок 3 – Зависимость прямого напряжения СИД № 14 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. Интервалы времени обработки ультразвуком: 1 – 10 часов; 2 – 10–23 часов; 3 – 23–41 часа

Для СИД № 14 измерен спектр электролюминесценции (рисунок 4). Обнаружено, что форма спектра после ультразвуковой обработки не изменилась, но мощность излучения увеличилась в 2,2 раза, КПД с 7,4 % стал равным 16,6 %.

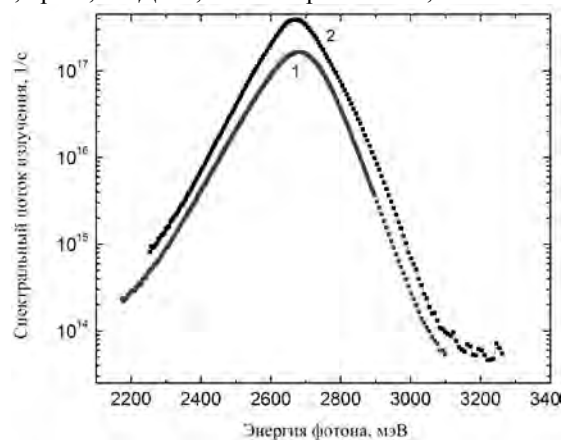


Рисунок 4 – Зависимость спектрального потока излучения от энергии фотона для СИД № 14 Nichia при токе 20 мА до (1) и после (2) ультразвукового воздействия

Механическое напряжение для размножения дислокаций в СИД на базе нитридов составляет $\sigma_0 = 2,8$ МПа (280 г/мм²), мощность ультразвуковой волны для этого можно оценить по формуле [1, 2]:

$$P = \frac{\sigma_0^2 f}{E_p} V_p$$

Для частоты ультразвука $f = 180$ кГц, модуля Юнга и объема пьезокерамики $E_p \approx 7 \cdot 10^{10}$ Па, $V_p = 0,9424 \cdot 10^{-6}$ м³ минимальная мощность ультразвуковой волны, необходимая для эффективного размножения дислокаций (растрескивания), согласно расчету составляет ~22 Вт. В нашем случае мощность несколько ниже, т.е. является пороговой, но в совокупности с повышенной температурой пьезокерамики (~67 °С), увеличивающей амплитуду колебаний атомов, приводит, вероятно, к разрушению или перестройке уже имеющихся в СИД протяженных дефектов, не приводя к растрескиванию.

Таким образом, проведена обработка ультразвуком индикаторных СИД фирмы Nichia (NSPB510S) синего свечения. Обнаружено, что в результате обработки происходит уменьшение прямого напряжения на СИД при стабилизированном токе. Наиболее эффективной для данного типа индикаторных СИД оказалось введение акустической мощности через электроды СИД. Обнаружены колебания прямого напряжения на СИД от времени обработки. Для одних СИД после данного участка наблюдался электрический пробой, для других – стабилизация ВАХ. По

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 $1 \cdot 10^{15}$ – $6 \cdot 10^{17}$ 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.

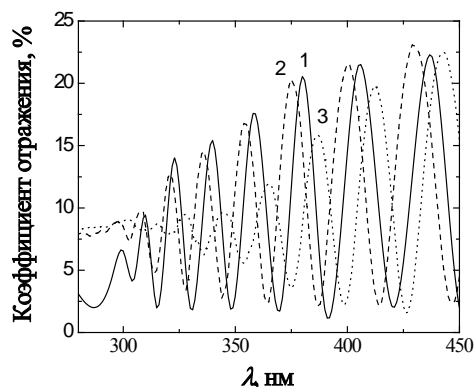


Рис. 1 - Спектральные зависимости коэффициента отражения исходной (1) и γ -облученных (2,3) фоторезистивных пленок на кремнии. Доза, кГр: 1 – 0; 2 – 6; 3 – 2900