

УДК 621.382.032.21

Ю.Ю. Гребнева, Т.И. Данилина, А.В. Мошкина, И.А. Чистоедова

Формирование микрорельефа методами электронно-лучевой литографии и контактной фотолитографии

Работа посвящена исследованию возможности формирования микрорельефных поверхностей в оптическом покрытии SiO_2 , нанесенном на полупроводниковую подложку. Для формирования микрорельефа регулярной структуры использовались два метода создания рисунка в слое SiO_2 – электронно-лучевая литография и фотолитография. С помощью электронно-лучевой литографии получен микрорельеф в слое SiO_2 в виде углублений диаметром 460 нм и расстоянием между ними 130 нм с плотностью $2,8 \cdot 10^8$ шт./ см^2 . С помощью контактной фотолитографии получен микрорельеф в виде nanoострий с расстоянием между ними 415 нм и диаметром основания 630–660 нм, что соответствует плотности nanoострий $3,3 \cdot 10^7$ шт./ см^2 .

Ключевые слова: оптические покрытия, квантовая эффективность, микрорельеф, электронно-лучевая литография, контактная фотолитография.

В настоящее время разработка высокоэффективных мощных светодиодных кристаллов, излучающих в синем диапазоне длин волн, является одной из основных задач в исследовании полупроводниковых приборов на основе нитрида галлия и его твердых растворов.

Возросшая яркость и эффективность светодиодов на основе GaN, а также перекрытие ими практически всего видимого спектрального диапазона привели в настоящее время к их использованию в качестве эффективных источников света не только в системах индикации, подсветки или сигнальной аппаратуре, но и для общего освещения. В настоящее время созданы твердотельные источники света на основе светодиода с люминофорным покрытием со светоотдачей более 160 лм/Вт, что более чем в 10 раз превышает светоотдачу традиционных ламп накаливания и вдвое – ртутных люминесцентных ламп [1–2].

Несмотря на большое количество работ, направленных на повышение внешнего квантового выхода излучения, его значение в лучших образцах светодиодов не превышает 40–50%. Наиболее эффективными способами преодоления этой проблемы представляются создание рассеивающих свет поверхностей и использование просветляющих оптических покрытий, микрорезонаторов внутри активной области, создание фотонного кристалла, а также применение флип-чип-конструкции светодиода [3].

Микрорельефные поверхности формируют как во внешнем слое (ITO), так и непосредственно в GaN. С целью создания микрорельефных поверхностей используются различные методы травления сапфира, *n*-GaN, *p*-GaN, ITO, позволяющие увеличить внешнюю квантовую эффективность светодиодного кристалла [4–9]. Недостатком этих методов является трудность травления самого GaN, ухудшение параметров гетероструктуры при формировании глубокого микрорельефа малых размеров на всей площади кристалла из-за ограниченности толщины слоев *n*-GaN (3–4 мкм) и *p*-GaN (0,15–0,2 мкм). Поэтому исследование возможности создания микрорельефа в дополнительном слое на GaN представляет интерес. В связи с этим исследование путей повышения внешнего квантового выхода светодиодов является актуальным.

Цель данной работы является формирование микрорельефной поверхности в оптическом покрытии SiO_2 с использованием электронно-лучевой литографии и контактной фотолитографии.

Для создания микрорельефа методом электронно-лучевой литографии на полупроводниковую пластину из GaAs наносилась пленка SiO_2 с помощью плазмохимического осаждения (ПХО) толщиной 80 нм. На подготовленную пластину наносился резистивный слой на основе полиметилметакрилата 950 РММА методом центрифугирования. В полученном резистивном слое формировался рисунок с помощью электронного луча. Экспонирование и совмещение осуществлялись на электронном литографе Raith 150^{two} с ускоряющим напряжением 30 кВ и дозой экспонирования $D = 450$ мкКл/ см^2 . Экспонированные области резиста проявлялись в смеси органических растворителей метилизобутилкетона и изопропилового спирта. Время проявления определялось экспериментально по качеству вскрытых окон в резисте. Через полученную резистивную маску производилось

травление слоя SiO_2 . Контроль полученного изображения в SiO_2 осуществлялся с помощью электронного микроскопа Raith 150^{tw}. Вид микрорельефа определялся временем травления. На рис. 1, 2 представлено изображение микрорельефа, полученного в слое SiO_2 методом электронно-лучевой литографии.

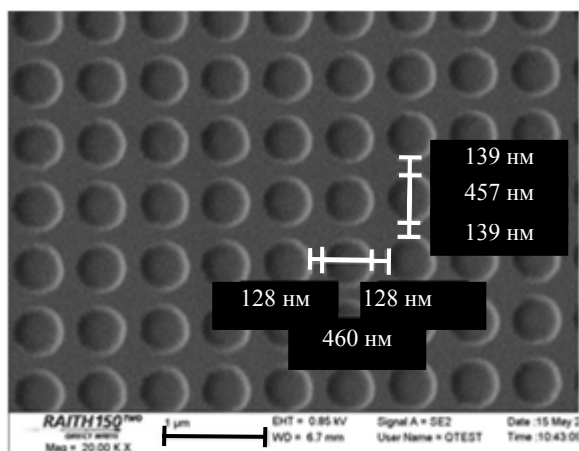


Рис. 1. Изображение микрорельефа, полученного в слое SiO_2 методом электронно-лучевой литографии (время травления образца 40 с)

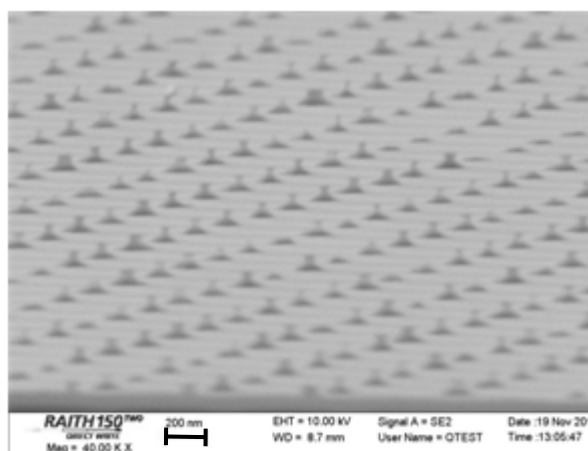


Рис. 2. Изображение микрорельефа, полученного в слое SiO_2 методом электронно-лучевой литографии (время травления образца 85 с)

Из рис. 1 видно, что после травления в течение 40 с имеется регулярная структура в виде углублений глубиной 70 нм, диаметром 460 нм и расстоянием между ними 130 нм. Плотность отверстий составляет $2,8 \cdot 10^8$ шт./ см^2 . При увеличении времени травления до 85 с (см. рис. 2) наблюдается перетрав слоя SiO_2 с изменением размеров микрорельефа.

Представленная технология формирования микрорельефа с помощью электронно-лучевой литографии требует больших временных затрат, сложного и дорогостоящего оборудования в связи с чем не может быть рекомендовано для использования в массовом производстве. Поэтому в качестве альтернативы была предложена технология создания микрорельефа в слое SiO_2 с помощью метода контактной фотолитографии.

На подложке из GaAs методом плазмохимического осаждения (ПХО) была сформирована пленка SiO_2 толщиной 240 нм. Для получения рисунка использовался специально разработанный позитивный фотосаблон. Экспонирование резиста с длиной волны излучения 250 нм осуществлялось методом контактной фотолитографии. При постоянной интенсивности излучения равной 14 мВт/ см^2 , время экспонирования составляло 300 с. Экспонированные области резиста проявлялись в смеси органических растворителей метилизобутилкетона и изопропилового спирта. Время проявления определялось экспериментально. Далее осуществлялась операция изотропного травления SiO_2 через окна диаметром 0,5 мкм и расстоянием между окнами 0,5 мкм. Контроль полученного изображения в слое SiO_2 осуществлялся с помощью электронного микроскопа Raith 150two. На рис. 3–4 представлено изображение микрорельефа, полученного в слое SiO_2 методом контактной фотолитографии.

За счет растрывания в слое SiO_2 образовались nanoострия в виде пирамидок, представляющие собой регулярную структуру с размерами основания 640–660 нм, высотой пирамидок 220 нм и расстоянием между ними 415 нм. Плотность nanoострий составляет $3,3 \cdot 10^7$ шт./ см^2 .

Таким образом, в работе предложены два метода формирования микрорельефа в оптическом покрытии SiO_2 – электронно-лучевой литографии и контактной фотолитографии. Микрорельеф имеет строго упорядоченную структуру с плотностью nanoострий 10^7 – 10^8 шт./ см^2 .

Технология создания микрорельефа с помощью контактной фотолитографии по сравнению с электронно-лучевой литографией является более простой в реализации, менее трудозатратной, экономически выгодной. В связи с этим, данная технология рекомендуется для создания микрорельефа в световыводящей поверхности светодиодов на основе GaN для массового производства.

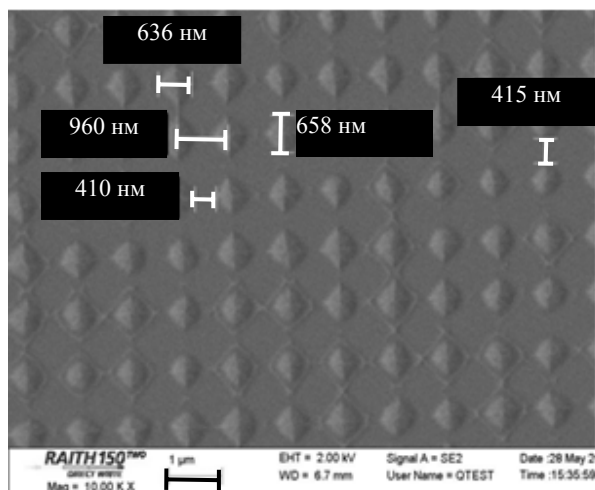


Рис. 3. Изображение микрорельефа, полученного в слое SiO₂ методом контактной фотолитографии при увеличении 10000×

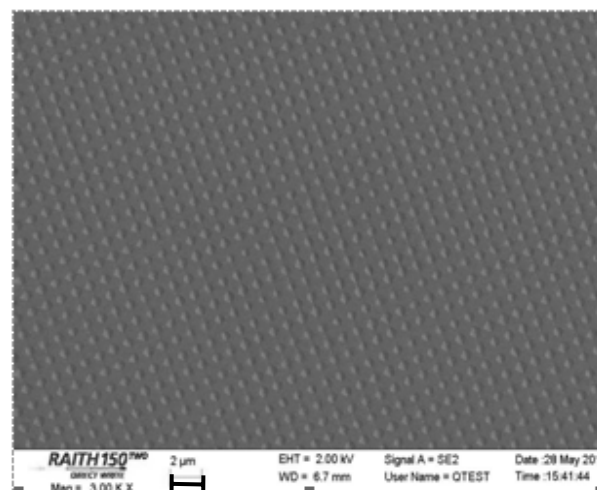


Рис. 4. Изображение микрорельефа, полученного в слое SiO₂ методом контактной фотолитографии при увеличении 3000×

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 73/10 от 15.07.2010 в порядке реализации Постановления №218 Правительства РФ.

Литература

1. Синие флип-чип-светодиоды на основе AlGaInN с удаленной сапфировой подложкой / И.П. Смирнова, Л.К. Марков, Д.А. Закгейм и др. // ФТП. – 2006. – Т. 40, № 11. – С. 1397–1401.
2. Увеличение квантовой эффективности флип-чип AlGaInN-светодиодов путем реактивного ионного травления внешней стороны подложек SiC / И.П. Смирнова, Л.К. Марков, Е.М. Аракчеева и др. // ФТП. – 2010. – Т. 44, № 5. – С. 684–687.
3. Increase in the extraction efficiency of GaN-based light-emitting diodes via surface roughening / T. Fujii, Y. Gao, R. Sharma et al. // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 84, № 6. – P. 855–857.
4. Enhanced Output Power of GaN-Based LEDs With Nano-Patterned Sapphire Substrates / Huang Hung-Wen, C.C. Kao, J.T. Chu et al. // IEEE Photonics Technology Letters. – 2008. – Vol. 20, № 13. – P. 1193–1195.
5. High-brightness InGaN-GaN flip-chip light-emitting diodes with triple-light scattering layers / Lee Chia-En, Lee Yea-Chen, Kuo Hao-Chung et al. // IEEE Photonics Technology Letters. – 2008. – Vol. 20, № 5–8. – P. 659–661.

Гребнева Юлия Юрьевна

Магистрант 2-го курса, каф. физической электроники (ФЭ) ТУСУР
Тел.: +7-952-177-23-04
Эл. почта: ultrafiolet90@mail.ru

Данилина Тамара Ивановна

Канд. техн. наук, профессор каф. ФЭ
Тел.: +7-960-971-27-43
Эл. почта: danti@ms.tusur.ru

Мошкина Александра Валерьевна

Магистрант 1-го курса, каф. ФЭ
Тел.: +7-923-414-01-70
Эл. почта: aleksandra_moshkina@mail.ru

Чистоедова Инна Анатольевна

Канд. техн. наук, доцент каф. ФЭ

Тел.: +7-913-810-44-25

Эл. почта: innachist@mail.ru

Grebneva Yu.Yu, Danilina T.I., Moshkina A.V., Chistoedova I.A.

Fabrication of microrelief by electron beam lithography and contact photolithography

In the paper we observed the possibility of fabrication of microrelief surfaces in the optical SiO₂ coating which was applied on a solid state base coat. We used two methods of delineation in the SiO₂ layer for fabrication of microrelief with regular structure – electron beam lithography and contact photolithography. The microrelief in the SiO₂ layer (with the cavity diameter of 460 nm and stepping distance of 130 nm with density of $2,8 \cdot 10^8$ pcs./cm²) was received by electron beam lithography. The microrelief of nanotips (with a diameter of 630–660 nm and stepping distance of 415 nm which correspond to density of $3,3 \cdot 10^7$ pcs./cm²) was received by contact photolithography.

Keywords: optical coating, quantum efficiency, microrelief, electron beam lithography, photolithography.
