Разработка мощных ИК диодов с РБО на 850 и 920 нм методом МЛЭ

Н.А. Солдатов, Д.В. Дмитриев, К.С. Журавлев

¹Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 630090, Пирогова, 30

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090, Пирогова, 1

тел: +7 (903) 991 77-77, эл. почта: nikita.soldatov2099@yandex.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-169

Излучающие диоды инфракрасного диапазона ($\lambda = 0.74 - 2000$ мкм) широко используются в технике ночного видения, инфракрасного освещения, дистанционного управления и др. Но аэрозольное и релеевское рассеяния, молекулярное поглощение оптического сигнала в атмосфере приводят к энергетическим потерям большей части ИК диапазона. Изготовление ИК диодов на длины волн 850 и 920 нм обусловлено наименьшим затуханием оптического сигнала в атмосфере. Целью работы является создание ИК диодов на 850 и 920 нм с большим внешним квантовым выходом.

Для увеличения интенсивности излучения ИК диодов было предложено использовать распределенный брэгговский отражатель (РБО), помещённый под активной областью диода. В РБО происходит чередование материалов с большим и меньшим показателями преломления, где толщины каждого выбираются такими, чтобы оптическая длина пути nd была кратна четверти длины волны. Так, лучи, отраженные от границ раздела двух материалов, находятся в фазе, что приводит к их конструктивной интерференции. В результате в определенном диапазоне длин волн такая многослойная структура очень эффективно ($R \sim 95\%$) отражает падающее излучение. На основе литературных данных и результатов расчёта [1], РБО, выращенный на гетероструктурах $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ методом МЛЭ с чередующимися составами по $x = 0.9$ и $x = 0.1$, обладает наилучшим спектром отражения по сравнению с другими материалами и составами для падающего излучения с длиной волны 850 нм.

В РБО толщины слоёв выбираются таким образом, чтобы оптическая длина пути в каждом из них была равна $\lambda/4$, то есть

где $n_i L_i$ – показатель преломления и толщина i -го слоя.

$$n_i L_i = \lambda / 4;$$

Показатель преломления гетероструктуры $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ был рассчитан по следующим формулам:

где n – действительная часть показателя преломления; λ – длина волны в вакууме; h – постоянная

$$n(\lambda) = \sqrt{A_0 \left[f(\chi) + \frac{f(\chi_{S0})}{2} \left(\frac{E_0}{E_0 + \Delta_0} \right)^{\frac{3}{2}} \right] + B_0};$$
$$f(\chi) = \frac{2 - \sqrt{1 + \chi} - \sqrt{1 - \chi}}{\chi^2}; \quad \chi = \frac{hc}{\lambda E_0}; \quad \chi_{S0} = \frac{hc}{\lambda (E_0 + \Delta_0)},$$

Планка; c – скорость света в вакууме; $A_0(x) = 6.3 + 19x$ и $B_0(x) = 9.4 - 10.2x$ – расчётные константы в зависимости от состава $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$; $E_0(x) = 1.425 + 1.155x + 0.37x^2$ – ширина запрещенной зоны в Г-долние в зависимости от состава структуры; $E_0(x) + \Delta(x) = 1.765 + 1.155x + 0.37x^2$ – спин-орбитальная энергия расщепления в зависимости от состава структуры. Для $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ $n = 3.0614$, для $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ $n = 3.5728$. Соответственно толщины слоёв при длине волны $\lambda = 850$ nm:

$$\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As} \quad L_{0.9} = 69.4 \text{ nm}$$

$$\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As} \quad L_{0.1} = 59.5 \text{ nm}$$

В ходе работы был выращен тестовый образец методом МЛЭ и получен спектр отражения. Проведен контроль слоев методом СЭМ и установлено соответствие между экспериментально полученным и расчетным значениям толщин слоев РБО. Таким образом, получены поправочные коэффициенты для роста структуры требуемой длины волны. А также определено минимальное число пар слоёв (24 шт.) необходимое для достижения коэффициента отражения $R > 90\%$.

Литература

[1] Su-Chang Ahn. Optimum Conditions of the Distributed Bragg Reflector in 850-nm GaAs Infrared Light-Emitting Diodes / Su-Chang Ahn, Byung-Teak Lee, Won-Chan An // Journal of the Korean Physical Society, Vol. 69, No. 1, July 2016, pp. 91~95.