

Влияние тепловых нейтронов на излучательные характеристики InGaAs/AlGaAs-гетеролазеров

Б.И.Махсудов

Изучены изменения порогового тока инжекционных квантоворазмерных InGaAs/AlGaAs-гетеролазеров, излучающих вблизи длины волны $\lambda = 0.7 \mu\text{м}$, при облучении тепловыми нейтронами. Обнаружено уменьшения порогового тока накачки при малых дозах (10^7 нейтр./см²), а также увеличение этого тока и деградация структуры при дозе более 6×10^7 нейтр./см². Выявлено, что основной причиной роста порогового тока при больших дозах облучения являются ядерные реакции типа ${}_{49}\text{In}^{115}(n, \gamma) {}_{49}\text{In}^{116}$ и β -распад изотопа ${}_{49}\text{In}^{116}$ в результате которого появляются атомы ${}_{50}\text{Sn}^{116}$.

Ключевые слова: гетеролазеры, пороговый ток, тепловые нейтроны, ядерная реакция, доза облучения.

Известно, что процессы деградации в оптоэлектронных приборах, возникающие при внедрении тяжелых частиц, а также в результате ядерных реакций с возможным последующим распадом их продуктов, связаны с появлением в решетке новых атомов, а это влияет на электрические и оптические свойства приборов. В связи с этим изучение влияния тепловых нейтронов на излучательные характеристики полупроводниковых лазеров является интересной задачей.

Существует ряд работ [1–5], посвященных исследованию влияния радиационного облучения на характеристики гетероструктур, но физическая картина процессов, происходящих в активной области лазера при облучении тепловыми нейтронами, далека от понимания.

Целью настоящей работы было изучения влияния облучения нейтронами на пороговый ток квантоворазмерных InGaAs/AlGaAs-гетеролазеров.

Исследованные образцы представляли собой типичные маломощные квантоворазмерные напряженные InGaAs/AlGaAs-гетеролазеры, работающие в красной области спектра.

Общее число образцов составило 40, причем средний пороговый ток при 25 °С был равен 7 мА. Как и в работе [4], перед облучением образцов для оценки работоспособности лазеров проводились кратковременные испытания (10 ч) при температуре 70 °С и постоянной мощности излучения. Установка для испытаний позволяла одновременно измерять в автоматическом режиме ватт-амперные характеристики 16 лазеров.

Затем образцы облучались тепловыми нейтронами от Pu–Be-источника (энергия нейтронов 0–10 МэВ) дозами от 4×10^7 до 3.5×10^8 нейтр./см². Для получения тепловых нейтронов между источником и образцом размещался парафиновый слой толщиной 5 см. После облучения снова измерялся пороговый ток лазеров.

Б.И.Махсудов. Таджикский национальный университет, Таджикистан, 734025 Душанбе, просп. Рудаки, 17; e-mail: maksudov_barot@mail.ru

Поступила в редакцию 19 июня 2014 г., после доработки – 23 сентября 2014 г.

На рис.1 представлена ватт-амперная характеристика некоторых лазеров до и после облучения различными дозами.

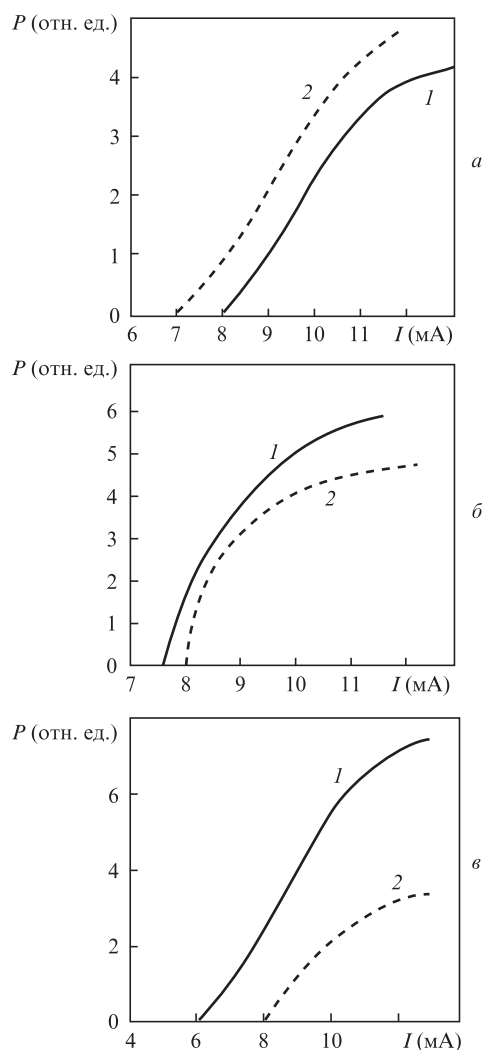


Рис.1. Ватт-амперная характеристика InGaAs/AlGaAs-гетеролазеров до (1) и после (2) облучения тепловыми нейтронами при $\Phi = 4.4 \times 10^7$ (а), 9.54×10^7 (б) и 1.35×10^8 нейтр./см² (в).

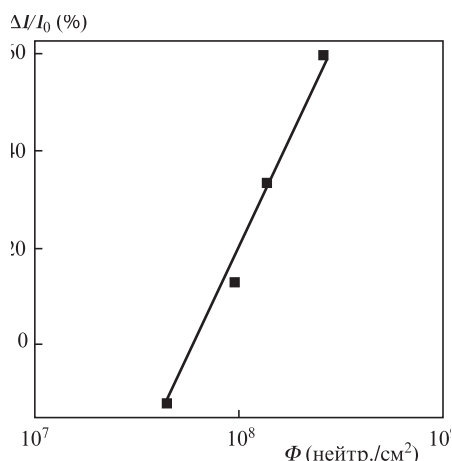


Рис.2. Зависимость порогового тока GaAs/AlGaAs-гетеролазеров от дозы облучения тепловыми нейтронами.

На рис.2 показана зависимость порогового тока накачки лазеров от дозы облучения для разных образцов. Каждая точка соответствует усреднению порогового тока по 10 образцам. Видно, что при дозах $\sim 4 \times 10^7$ нейтр./см² пороговый ток лазера уменьшается, а при дозах более $\sim 6 \times 10^7$ нейтр./см² начинает расти. Последнюю зависимость можно представить в следующем виде:

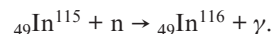
$$I = I_0(A\Phi + B),$$

где I_0 – пороговый ток лазера до облучения; Φ – доза облучения; коэффициенты A и B составляют 3.3×10^{-9} см² и -0.88 соответственно.

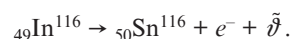
Следует отметить, что при гамма-облучении $B = 1$, $A_1 = 2 \times 10^{-15}$ см² и $A_2 = 4.4 \times 10^{-18}$ см² [4], что свидетельствует о более сильном воздействии тепловых нейтронов на свойство гетеролазеров по сравнению с гамма-квантами.

Известно, что тепловые нейтроны легко захватываются ядрами, причем получающиеся новые изотопы часто оказываются радиоактивными. В результате распада этих изотопов в активной области гетеролазеров образу-

ются примесные атомы. Согласно [6] сечение активации для тепловых нейтронов изотопов элементов Al, Ga, As и In равны 0.21, 1.4, 5.4 и 155 барн соответственно. Как видно, тепловые нейтроны главным образом воздействуют на ядро In. В соответствии с [7] под действием нейтронов происходит реакция радиационного захвата (n, γ). Эта реакция с большой вероятностью идет под действием медленных нейтронов с энергией от 0 до 500 кэВ. Примером (n, γ) является следующая реакция:



Образующийся радиоактивный изотоп ${}_{49}\text{In}^{116}$ распадается через 54 мин:



Ядро атома олова в гетероструктуре InGaAs/AlGaAs считается чужеродным. Появление дефектов в кристаллической решетке искажает структуру электронных уровней, что вызывает изменения оптических свойств активной области гетеролазера. Эти изменения приводят к уменьшению излучательных центров и к увеличению порогового тока полупроводниковых лазеров, в активной области которых используется элемент In.

Экспериментальные результаты указывают на то, что InGaAs/AlGaAs-гетеролазеры имеют высокую чувствительность к тепловым нейтронам и могут быть использованы как детекторы нейтронов.

1. Huang M.B., Zhu J., Oktyabrsky S. *Nucl. Instrum. Meth. B*, **211**, 505 (2003)
2. Новиков А.В., Яблонский С.В., Платонов В.В., Оболенский С.В., Лобанов Д.Н., Красильников З.Д. *ФТП*, **44**, 3 (2010).
3. Богатов А.П., Кочетков А.А., Коняев В.П. *Квантовая электроника*, **41**, 2(2011).
4. Махсудов Б.И. *Квантовая электроника*, **42**, 8 (2012).
5. Махсудов Б.И. *Вестник ТНУ*, **1/1**, 77 (2012).
6. *Справочник по ядерно-физическим константам для расчетов реакторов* (М.: Атомиздат, 1960, с. 9).
7. Мухин К.Н. *Экспериментальная ядерная физика* (М.: Атомиздат, 1974, с. 366).