

Положительная обратная связь порогового тока GaAs лазерного диода по температуре при нейтронном облучении

С.М. Дубровских*, О.В. Ткачёв, И.Д. Приходько

Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. акад. Е.И. Забабахина, г. Снежинск, Россия

**E-mail: dep5@vniitf.ru*

DOI:10.31868/RFL.2024.34-35

Полупроводниковые лазеры представляют собой один из наиболее важных типов лазеров, используемых на сегодняшний день, и связано это с их широким спектром применения, например, в качестве источников накачки для твердотельных и волоконных лазеров, а также использование в различных системах связи. Основной характеристикой данных типов приборов служит ватт-амперная характеристика (ВтАХ), а одним из основных параметров – пороговый ток. С ростом температуры происходит сдвиг ВтАХ в область больших токов, что характеризует сильную температурную зависимость порогового тока лазерного диода. Нейтронное облучение увеличивает температурную зависимость порогового тока, что проявляется в виде еще большего сдвига ВтАХ [1]. Наличие положительной обратной связи, когда нейтронное облучение увеличивает температурную чувствительность лазерного диода, и технических ограничений по отводу избыточного тепла от активной области может привести к его выходу из рабочего температурного режима. В случае применения полупроводникового лазера в системе накачки активной среды, даже незначительное несоблюдение температурного режима приводит к несогласованию спектра излучения лазерного диода с пиком поглощения накачиваемой среды и уменьшению мощности лазерной генерации. При значительных отклонениях от заданного температурного режима может возникнуть ситуация когда величина порогового тока лазерного диода превысит рабочий ток, в этом случае прекратится генерация лазерного диода.

В работе исследовали мощный одиночный лазерный диод накачки 975 нм с полосковой геометрией. Активная область прибора представляет из себя квантово-размерную гетероструктуру GaAs/InGaAs. Облучение образца производили на исследовательском ядерном реакторе: флюенс нейтронов первого облучения составлял $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, второго - $1,3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. До и после облучения снимали временной ход выходной оптической мощности при вариации начальной температуры образца, для этого с помощью термоэлектрического охладителя (элемента Пельтье) при выключенном лазерном диоде достигали целевой начальной температуры, после термостабилизации образца производили включение лазерного диода. Температуру регистрировали с помощью термопары расположенной на медном теплоотводе лазерного диода. На рис.1 представлены результаты данного эксперимента при начальной температуре теплоотвода $+40^\circ\text{C}$.

Из представленных экспериментальных данных (рис.1) видно, что термостабилизация лазерного диода после первого облучения наступает через ~ 30 секунд после включения лазерного диода. После второго облучения, при тех же температурных условиях, наблюдается срыв лазерной генерации через 25

секунд после включения. Данный эффект обусловлен саморазогревом лазерного диода за счет наличия положительной обратной связи.

Для анализа данного вторичного радиационного эффекта на основе полученных экспериментальных данных и математического описания физических процессов была разработана численная модель. Модель решает уравнение теплопроводности Фурье, где в качестве граничных условий взята тепловая мощность, выделяемая в активной области лазерного диода, вычисляемая как разница между полной подаваемой электрической мощностью и выходной оптической мощностью. Для граничного условия на медном теплоотводе использованы данные по температуре, полученные в ходе эксперимента. Как видно из рис.1, полученные данные с помощью разработанной модели достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными. Таким образом, зная функциональную связь порогового тока с флюенсом нейтронов, и используя разработанную модель можно прогнозировать изменение температурного режима работы лазерного диода при разных уровнях нейтронного нагружения. На рис.2 представлены результаты моделирования сборки лазерный диод – система охлаждения через теплоотвод диода, в которой отсутствует запас по отводимому теплу. Как видно из представленных данных, существенный разогрев активной области начинается с флюенса нейтронов равного $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, следовательно, с данного уровня нагружения возможен выход за рамки критерия по согласованию спектра. Начиная с флюенса нейтронов превышающих значение $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, положительная обратная связь может привести к срыву лазерной генерации.

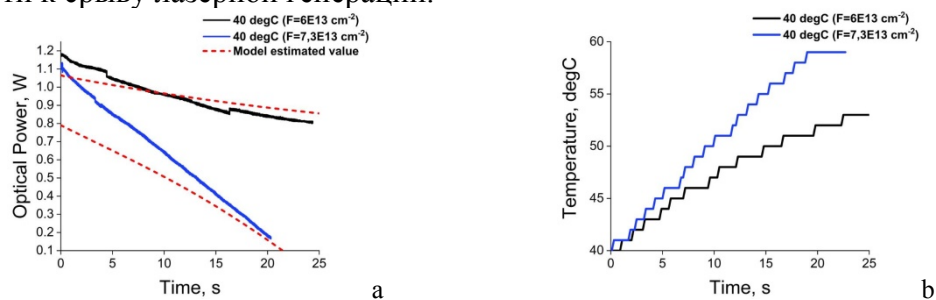


Рис. 1. – Временная зависимость выходной оптической мощности (а) и температуры теплоотвода лазерного диода (b) при начальном значении $+40^{\circ}\text{C}$

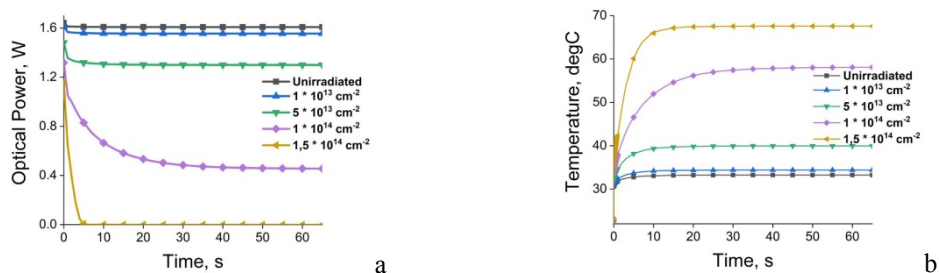


Рис. 2. – Результаты моделирования временного хода выходной оптической мощности (а) и температуры активной области (b) при вариации флюенса нейтронов (начальная температура теплоотвода $+22^{\circ}\text{C}$)

Литература

- [1] О.В. Ткачёв, С.М. Дубровских, и др, *ВАНТ, серия «Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру»* 3, 28-34 (2020)