

06.3;07;08

©1995

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В КРИСТАЛЛАХ CdS, НА РАСХОДИМОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ И ОПТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ЛАЗЕРОВ С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

М.М.Зверев, Д.Н.Корнюгин, Н.Н.Корнюгин, Е.М.Красавина

Ограничения возможностей применений мощных импульсных полупроводниковых лазеров с электронной накачкой [1] в значительной степени связаны с большой величиной расходимости излучения и невысокой оптической стойкостью кристаллов.

В данной работе будет показано, что указанные недостатки в значительной степени связаны с возникновением акустических колебаний в активной среде лазера при взаимодействии импульсного электронного пучка с кристаллом.

Ранее нами было показано [2], что рассмотрение активного элемента в качестве акустической ячейки позволяет объяснить ряд экспериментальных результатов, полученных при исследовании расходимости, энергетических параметров, а также деградации полупроводниковых лазеров с накачкой электронным пучком.

В настоящей работе приводятся новые экспериментальные данные о существенном влиянии динамических деформаций на работу импульсных полупроводниковых лазеров с электронно-лучевой накачкой.

В процессе взаимодействия электронного пучка с кристаллом из-за неравномерного распределения энергии накачки в объеме образца наряду с другими процессами происходит возбуждение акустических колебаний, которые приводят к возникновению механических напряжений. Последние могут приводить как к искривлению поверхностей активного элемента, так и, вследствие упругооптического и электрооптического эффектов, к появлению, оптических неоднородностей в объеме кристалла. Кроме того, возникновение в процессе накачки динамических напряжений, так же как и нагрев образца, должно приводить к модуляции энергетического спектра электронов.

Указанные выше эффекты могут сказываться на расходимости и энергетических параметрах излучения лазера, а также на процессах деградации активного элемента.

В качестве материалов активных элементов полупроводниковых лазеров с накачкой электронным пучком часто используются кристаллы с сильно выраженной анизотропией их свойств. Для таких кристаллов влияние акустических эффектов на работу лазера должно быть особенно заметно при использовании несимметричной геометрии области возбуждения, например, в виде щели.

В наших экспериментах лазерный активный элемент представлял собой плоскопараллельную полированную пластину толщиной 0.2 мм, изготовленную из сульфида кадмия с ориентацией $11\bar{2}0$. На обе поверхности пластины наносились зеркала с коэффициентами отражения 90% (со стороны электронного пучка) и 68% (со стороны выхода излучения). Для ограничения размеров накачиваемой области перед кристаллом со стороны электронного пучка устанавливалась щелевая диафрагма шириной 0.25 мм и длиной до 3 мм.

Предполагалось, что при изменении длины щели и ее ориентации относительно кристаллографической оси образца (находящейся в плоскости пластины) должен проявиться эффект воздействия акустических колебаний возбужденного кристалла на работу лазера.

Эксперименты проводились при комнатной температуре активного элемента. Для накачки использовался электронный пучок с энергией 250–300 кэВ, плотностью тока до 800 А/см^2 при длительности импульса 10 нс. Полный диаметр электронного пучка равнялся $\sim 1 \text{ см}$.

На рис. 1 представлены диаграммы направленности излучения лазера на основе CdS при двух ориентациях щелевой диафрагмы длиной 1 мм относительно оси \bar{C} кристалла. Как следует из эксперимента, расходимость излучения для случая перпендикулярного положения щели по отношению к оси \bar{C} меньше, чем для случая параллельного положения. Данное соотношение сохраняется в широком диапазоне плотностей тока накачки (рис. 2).

Мощность генерации при параллельном расположении возбужденной области и кристаллографической оси образца больше, чем при перпендикулярной ориентации при всех длинах щели, что находится в соответствии с результатами, представленными в [2]. Длина волны излучения лазера равнялась $\sim 528 \text{ нм}$.

Исследование порога оптического разрушения кристалла в зависимости от ориентации щелевой диафрагмы и оси \bar{C} кристалла проводилось при разных длинах щели. На рис. 3 показано, что плотность тока накачки, при которой появляются разрушения кристалла, растет с увеличением длины щели для обеих ориентаций относительно

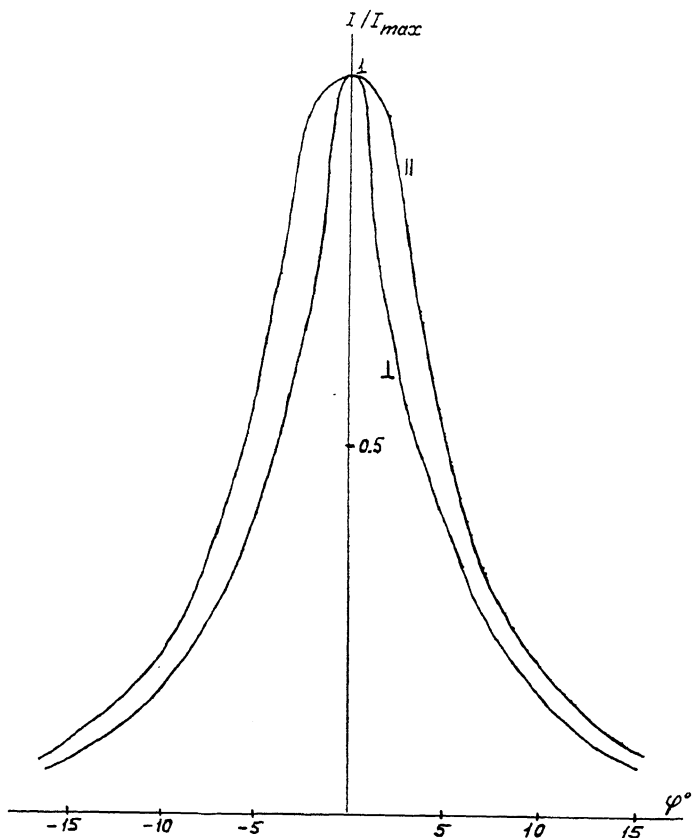


Рис. 1. Диаграммы направленности лазерного излучения для параллельной и перпендикулярной ориентации активной зоны кристалла относительно оси \bar{C} . Плотность тока накачки 300 A/cm^2 , длина щели 1 мм .

оси \bar{C} . В то же время в отсутствие лазерного излучения (для кристалла без напыленных зеркал) эффект разрушения кристалла наблюдался при значительно больших накачках, причем при параллельной ориентации щели и оси \bar{C} пороговая плотность тока, приводящего к разрушению образца, была в $1.5\text{--}2$ раза выше, чем при перпендикулярной ориентации.

На рис. 4 показана зависимость интенсивности лазерного излучения на пороге разрушения J от длины щели, из которой следует, что порог оптического разрушения падает с увеличением длины щели, а его значение для перпендикулярного положения щели относительно оси \bar{C} кристалла больше, чем для параллельного.

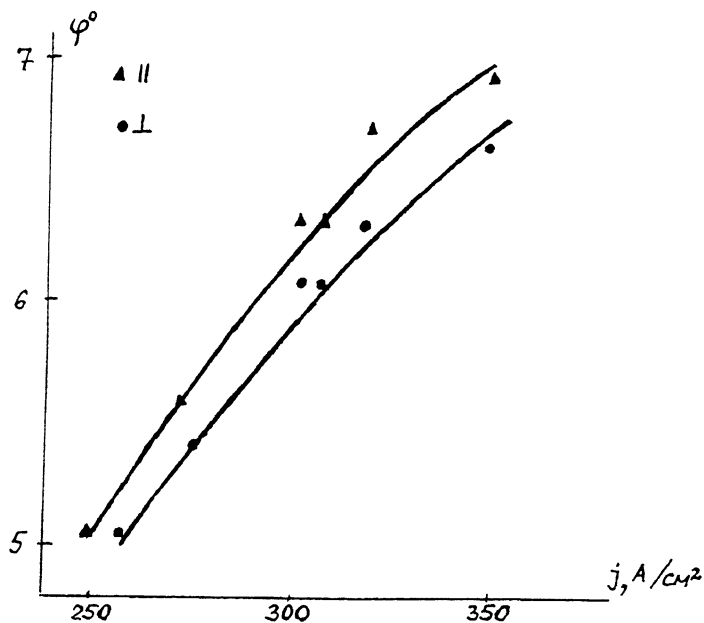


Рис. 2. Зависимость расходимости излучения от плотности тока электронного пучка: \parallel — щель параллельна оси \bar{C} , \perp — щель перпендикулярна оси \bar{C} .

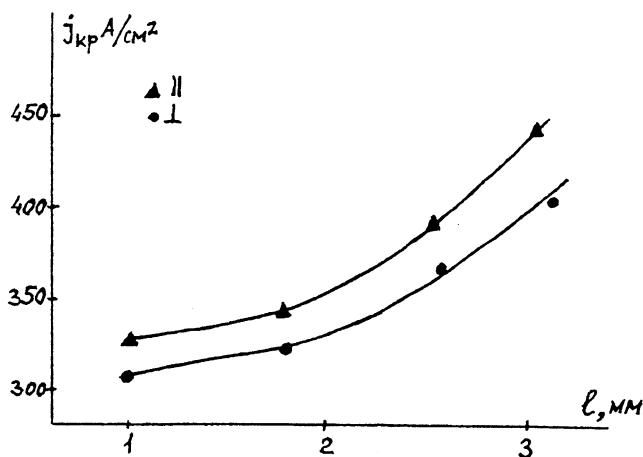


Рис. 3. Зависимость критической плотности тока (порога разрушения) от размера активной зоны лазера: \parallel — щель параллельна оси \bar{C} , \perp — щель перпендикулярна \bar{C} .

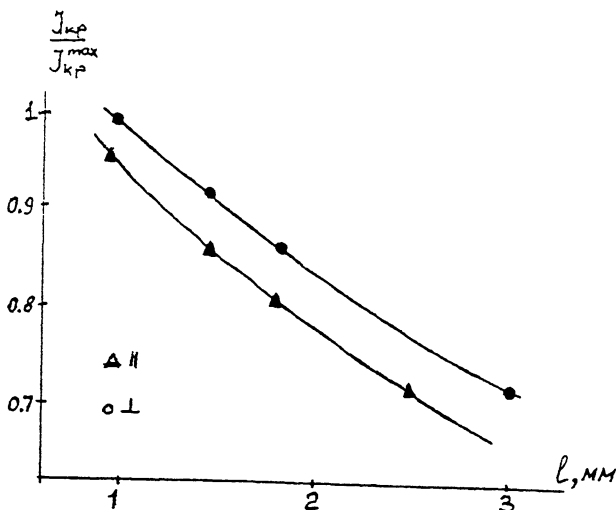


Рис. 4. Зависимость критической интенсивности света от размера облучаемой области: \parallel — щель параллельна оси \bar{C} , \perp — щель перпендикулярна оси \bar{C} .

Визуальная картина разрушений имела следующие особенности:

— выходное зеркало имело более низкий порог и более явно выраженные разрушения, чем глухое, обращенное к электронному пучку;

— при расположении щели перпендикулярно оси \bar{C} с ростом накачки разрушения распространяются от периферии щели к центру, а при параллельном расположении сначала разрушается участок вблизи центра щели, а с увеличением накачки появляются разрушения по краям.

Анализ приведенных выше экспериментальных результатов позволяет сделать следующие выводы.

При накачке кристалла через щелевидную диафрагму величина возникающих в процессе накачки оптических неоднородностей должна быть различной в зависимости от ориентаций щели и кристаллографической оси образца. Это отличие обусловлено анизотропией упругих свойств, анизотропией упруго- и электрооптических коэффициентов в кристаллах CdS, а также наличием в них блочной структуры и малоугловых границ, направленных параллельно оси \bar{C} [3].

Величина оптических неоднородностей, возникающих в образце, будет определяться как величиной и направлением деформаций, так и значениями тензоров упругооптического и электрооптического коэффициентов.

Большее значение упругих деформаций при ориентации щели параллельно оси кристалла приводит соответственно к большей величине оптических неоднородностей и уширению диаграммы направленности излучения лазера.

Оценка величины оптических неоднородностей среды Δn может быть сделана следующим образом. Будем считать, в соответствии с результатами работы [2], что в условиях нашего эксперимента наличие оптических неоднородностей материала активного элемента является главенствующим фактором, определяющим угловое распределение лазерного излучения. Для расходимости излучения θ в случае неоднородной среды имеем [4]: $\theta = \sqrt{2n\Delta n}$, где n — показатель преломления. Используя данные, приведенные на рис. 1, и значение $n = 2.77$ на длине волны генерации [6], получаем $\Delta n = 0.003-0.006$, что находится в соответствии с результатами [2].

Значительное отличие порога разрушения кристалла с нанесенными зеркалами и без зеркал говорит о существенной роли светового излучения лазера в процессе деградации. Этот результат неоднократно отмечался и ранее [5].

Однако, сравнивая результаты, представленные на рис. 3 и 4, можно сделать вывод, что не только световое излучение является фактором, ответственным за разрушение кристаллов. Заметим, что запасенная энергия акустической волны, обусловленной воздействием электронного пучка, будет увеличиваться с ростом размера облучаемой области. Предположим, что разрушения вызываются суммарным воздействием светового излучения и импульса растяжения, возникающего под действием электронного пучка. В этом случае значение критической интенсивности света на пороге разрушения будет убывать при увеличении длины активной зоны, что и наблюдается в экспериментах (рис. 4). При этом разрушения в первую очередь будут происходить в местах максимума деформаций, обусловленных как лазерным излучением, так и электронно-лучевым воздействием. С большей деформацией входного, облучаемого электронным пучком, зеркала резонатора и соответственно фокусировкой светового излучения в центральной части выходного зеркала связана, по-видимому, визуально наблюдаемая картина разрушений.

Таким образом, рассмотрение упругих деформаций кристалла в течение импульса накачки и после его окончания позволяет качественно объяснить все наблюдаемые в экспериментах эффекты.

Результаты наших исследований позволяют надеяться на возможность преодоления проблем, связанных с возникновением акустических колебаний в активной среде лазеров с электронной накачкой, путем оптимизации конструкции активных элементов.

Список литературы

- [1] Богданкевич О.В., Зеерев М.М., Крюкова И.В., Костин Н.Н., Красавина Е.М., Певцов В.Ф., Ушатин В.А., Якушин В.К. // Квант. электрон. 1985. Т. 12. № 7. С. 1517-1519.
- [2] Зеерев М.М., Кутковой А.В., Якушин В.К. // Квант. электрон. 1995. (в печати).
- [3] Тягай В.А., Колбасов Г.Я., Витризовский Н.И. и др. // УФЖ. 1977. Т. 22. № 11. С. 1847.
- [4] Зарецкий А.И., Кириллов Г.А., Кормер С.Б., Сугарев С.А. // Квант. электрон. 1974. Т. 1. С. 1185. Кириллов Г.А., Кормер С.Б., Кочемасов Г.Г. // Квант. электрон., 1975. Т. 2. С. 666.
- [5] Красавина Е.М., Крюкова И.В. // Квант. электрон. 1976. Т. 3. № 11. С. 2475.
- [6] Langer D.W. // J. Appl. Phys. 1966. Т. 37. Р. 3530.

Поступило в Редакцию
3 июня 1995 г.
