

# Поляризация излучения полупроводниковых лазеров в ближней зоне

В. М. Стецик, П. Е. Зеков

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: stetsik@bsu.by*

В работе рассматриваются причины различия коэффициентов поляризации излучения одномодовых инжекционных полупроводниковых лазеров. Изучалось ближнее поле излучения. Причиной различия коэффициентов поляризации явилось возникновение электромагнитной волны с изменяющимся по направлению электрическим вектором вдоль волновода.

**Ключевые слова:** Одномодовый индукционный лазер, поляризация излучения, напряженность структуры, ближнее поле излучения.

## Polarization of Semiconductor Lasers in Near Field

V. M. Stetsik, P. E. Zekov

*Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: stetsik@bsu.by*

This paper examines the causes of differences in the polarization coefficients of single-mode injection semiconductor lasers. The near-field radiation was studied. The cause of these differences in polarization coefficients was the emergence of an electromagnetic wave with a changing electric vector along the waveguide.

**Keywords:** Single-mode induction laser, radiation polarization, structure strain, radiation near-field

### Введение

Поляризация светового излучения, определяемая как ориентация его электрического вектора электромагнитной волны, является фундаментальным свойством, которое служит мощным диагностическим и функциональным инструментом в оптоэлектронике и фотонике. Количественно она характеризуется степенью поляризации – отношением разности интенсивностей света в двух ортогональных поляризациях (ТЕ и ТМ модах) к их сумме, или коэффициентом поляризации (отношение интенсивностей ТЕ и ТМ составляющих). Исследования показывают, что степень поляризации очень чувствительна к механическим напряжениям [1–3]. Механические напряжения вызывают анизотропные и неоднородные изменения показателя преломления. Эти напряжения могут быть вызваны различными факторами: технологическими процессами, такими как пайка контактов чипов, несоответствием коэффициентов линейного температурного расширения в волноводных структурах и прилегающих слоях [3].

В высокомоощных лазерных излучателях степень поляризации используется для неразрушающего контроля качества монтажа и оценки долговременной надежности [1]. В оптических волноводах напряженность структуры напрямую влияет на ключевые параметры лазерной генерации: мощностные характеристики,

спектральные, пространственные. Анизотропные напряжения вызывают различия в ориентации электрического вектора в поле излучения, разницу в длинах волн для ТЕ и ТМ мод [3]. Их неоднородное распределение приводит к потерям, зависящим от поляризации излучения, что критически важно для стабильности интегрально-оптических схем [3]. Ярким примером прямой связи между деформацией и поляризацией является явление поляризационной бистабильности в лазерных диодах, детально изученное с помощью ближнепольной микроскопии [4].

### Экспериментальные результаты

В работе исследовались квантоворазмерные полупроводниковые лазеры с длиной волны 650 нм, мощностью 5 – 10 мВт, длиной резонатора 250 – 300 мкм. Было показано, что коэффициент поляризации может изменяться для различных излучателей в пределах 50 – 500. Излучение данных лазеров было одномодовым, а в ряде случаев – одночастотным. Для установления причин изменения коэффициентов поляризации было проведено исследование ближнего поля излучения полупроводникового лазера. Коэффициент увеличения оптической системы составлял порядка 2000. В качестве фотоприемника использовалась ПЗС-линейка TCD 1304AP. Непосредственно перед ПЗС-линейкой устанавливался поляризационный анализатор. Анализ сечения пучка производился при установке анализатора вблизи минимума анализатора.

На рис. 1 представлены распределения интенсивности излучения ближнего поля вдоль оптического волновода. Из рисунка видно различие в положении интенсивности излучения в пределах пятна генерации при повороте анализатора вблизи минимума пропускания на 3 градуса.

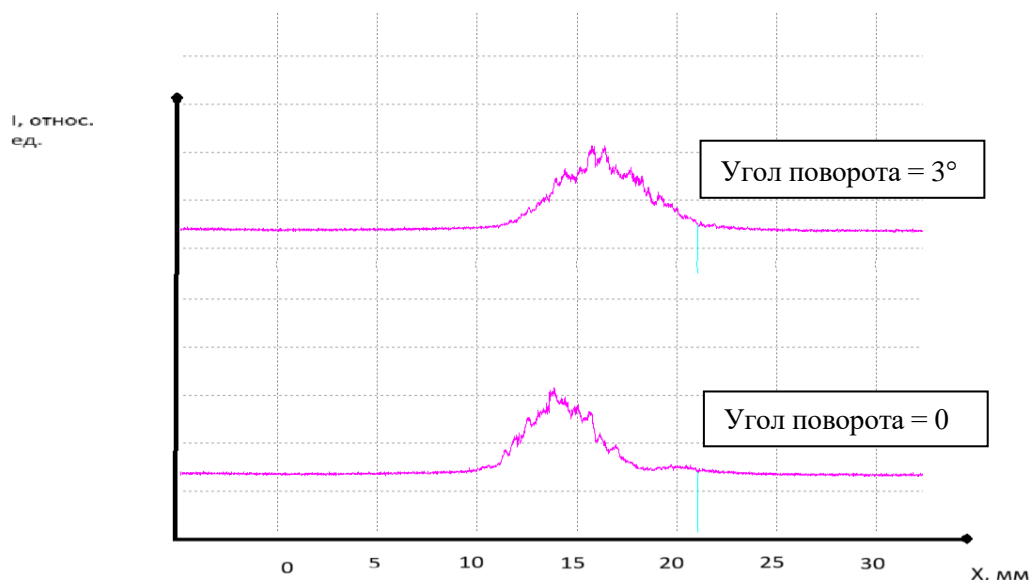


Рис 1. Интенсивность увеличенного изображения активной области при изменении угла поворота анализатора на 3 градуса вблизи минимума пропускания

Последовательное измерение интенсивности излучения в различных участках ближнего поля излучения лазера при изменении угла поворота анализатора позволило оценить изменение ориентации электрического вектора, что представлено на рис. 2. Из рис. 2

видно, что электрический вектор плавно поворачивается на угол порядка  $4,5^\circ$  вдоль координаты  $X$  волновода. В случае низких коэффициентов поляризации порядка 50 и менее, угол поворота электрического вектора мог изменяться на большую величину. Для исследуемого лазера  $K_p = 90$ . Измерение спектральных характеристик показало, что наш лазер работал в одночастотном режиме в определенных диапазонах тока накачки. При изменении угла поворота поляризатора происходило последовательное изменение интенсивности ближнепольного изображения вдоль горизонтального сечения волновода. Это позволяет сделать вывод о генерации электромагнитной волны с изменяющейся в плоскости волновода ориентацией электрического вектора.

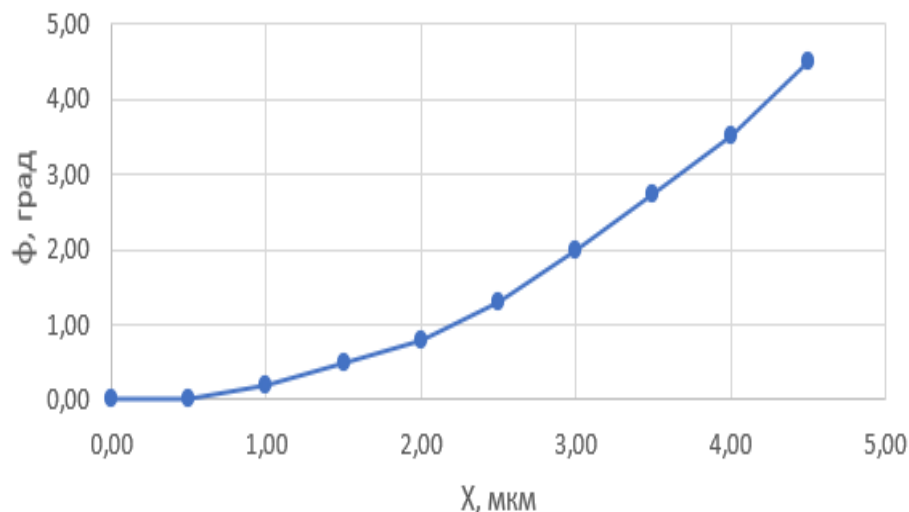


Рис. 2. Изменение положения электрического вектора вдоль генерирующей части волновода

Участок генерирующего волновода составлял около 5 мкм. Таким образом, на генерирующем участке волновода распространяется волна с изменяющейся ориентацией электрического вектора в плоскости  $X$ . Чем больше угол изменения ориентации электрического вектора в пределах генерирующего участка волновода, тем меньше интегральный коэффициент поляризации. Для более мощных лазеров с размером полоска 100–200 мкм области генерации, где происходит изменение ориентации электрического вектора электромагнитной волны, могут достигать 10–30 мкм. Этот факт обуславливает неравномерность распределения интенсивности генерирующего участка волновода лазера.

### Библиографические ссылки

1. Thermal and strain characteristics of high power 940 nm laser arrays mounted with AuSn and In solders / J. L. Hostetler [et al.] // Proc. SPIE. 2007. Vol. 6456. P. 645602/1– 645602/10.
2. Landesman J.-P., Cassidy D. T. Degree of polarization of luminescence from GaAs and InP as a function of strain: a theoretical investigation // Appl. Opt. 2020. Vol. 59, № 18. P. 5506-5517.
3. Huang M. Stress effects on the performance of optical waveguides // International Journal of Solids and Structures. 2003. Vol. 40. P. 1615–1628.
4. Near-field scanning optical microscopy of polarization bistable laser diodes / Ch. Lienau [et al.] // Appl. Phys. Lett. 1996. Vol. 69, № 17. P. 2471–2473.