

06.3;07;08;12

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА НА РАЗРЕШЕНИЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРА

© *А.О.Бардышев, Н.А.Есепкина, И.И.Саенко*

Полупроводниковые инжекционные лазеры все шире применяются в качестве источников когерентного излучения в системах оптической обработки информации и, в частности, в акустооптических спектроанализаторах (АОС). Стремление максимально использовать потенциальные возможности оптических процессоров приводит к необходимости учета особенностей излучательных характеристик инжекционных лазеров. Среди таких особенностей важную роль играет меньшая, чем в газовых лазерах, степень когерентности излучения, что может ограничить достижимое разрешение АОС. При этом зависимость разрешения от степени временной когерентности, т. е. ширины линии излучения, исследована достаточно подробно [1-3]. Что касается пространственной когерентности излучения, то, во-первых, для полосковых инжекционных лазеров в режиме генерации основной поперечной моды значительное спадание степени когерентности наблюдается лишь в плоскости полоска [2], а, во-вторых, влияние пространственной когерентности на разрешение АОС может стать заметным только в одностатном режиме, когда зависимостью разрешения от ширины линии излучения можно пренебречь. Как показывают простые оценки [1], последнее справедливо, если для АОС с полосой анализа в октаву выполняется соотношение:

$$\delta\lambda/\lambda_0 < 2/3N, \quad (1)$$

где:  $\lambda_0$  — длина волны, соответствующая центру линии излучения;  $\delta\lambda$  — ширина линии излучения;  $N$  — реализуемое количество разрешимых точек анализатора спектра.

При характерной для АОС величине  $N = 10^3$  ширина линии излучения лазеров с длиной волны в диапазоне  $\lambda_0 \approx 600 \dots 1000$  нм в соответствии с (1) не должна превышать  $0.4 \dots 0.6$  нм. Тогда, с учетом характерной для полосковых инжекционных лазеров величины интервала для продольных мод, составляющей  $0.15 \dots 0.4$  нм [2,4], количество продольных мод в линии излучения не превышает 2-3. Очевидно, что с учетом конкуренции мод стабильной

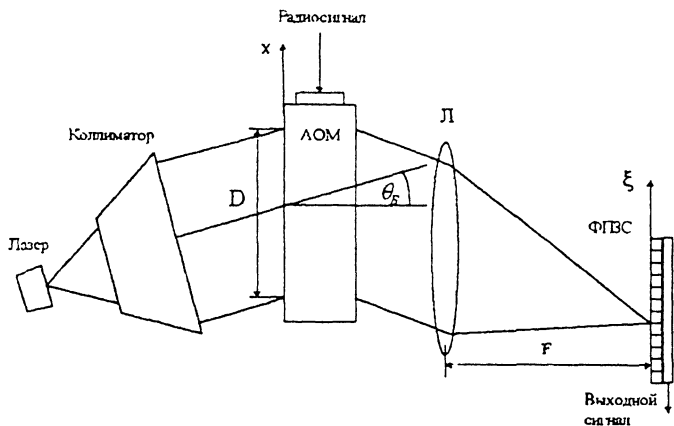


Рис. 1. Функциональная схема акустооптического анализатора спектра.

по амплитуде и частоте генерации можно ожидать только в одночастотном режиме. Именно поэтому при разработке АОС с высокими метрологическими характеристиками необходимо использовать одночастотные лазеры. В этом случае излучение можно считать квазимонохроматическим и воспользоваться расчетными оценками зависимости разрешения АОС от степени частичной пространственной когерентности, полученными в [5]. Цель данной статьи — сопоставить эти оценки с результатами измерений разрешения АОС с одночастотным инжекционным лазером.

В разработанном макете спектроанализатора, оптическая схема которого приведена на рис. 1, использовался полупроводниковый инжекционный лазер ИЛПН-820 [6], с длиной волны излучения  $\lambda = 820$  нм, имеющий эллиптическое сечение диаграммы направленности эллиптическую поляризацию с соотношением интенсивностей компонент, поляризованных ортогонально и параллельно  $p-n$  переходу, равным 50. Пороговый ток накачки  $I_n = 20$  мА. Ширина диаграммы направленности по уровню 0.5 в плоскости  $p-n$  перехода составляет 0.38 рад, а в перпендикулярной плоскости 0.52 рад.

Измерение спектра излучения лазера производилось с помощью отражательной дифракционной решетки с  $N = 600$  штрихов/мм. Спектральное разрешение во втором порядке составило  $\delta\lambda = 0.1$  нм. Регулировкой тока накачки лазера устанавливался режим устойчивой одночастотной генерации.

Измерение степени пространственной когерентности проводилось по стандартной методике путем измерения функции видности в двухщелевом интерферометре Юнга при изменении расстояния между щелями. В плоскости, перпендикулярной  $p - n$  переходу, в диапазоне углов меньше 0.3 рад функция видности практически равна единице для различных токов накачки.

Измерения функции видности и распределения интенсивности в плоскости  $p - n$  перехода показали, что эти зависимости могут быть аппроксимированы соответствующими гауссоидами, входящими в выражение для функции взаимной интенсивности светового поля на выходе коллиматора [5]:

$$\Gamma(x_1, x_2) = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot (x_1^2 + x_2^2) \cdot T_i^2}{D^2}\right) \times \exp\left(-\frac{2 \cdot (x_1 - x_2)^2 \cdot T_c^2}{D^2}\right), \quad (2)$$

где:  $x_1$  и  $x_2$  — координаты точек на оси  $x$  во входной плоскости акустооптического модулятора (рис. 1);

$D$  — апертура модулятора;

$T_i$  и  $T_c$  — параметры отсечки входящих в (2) гауссоид.

Отметим, что выражение (2) соответствует модели Гаусса-Шелла для монохроматического излучения [7]. Фазовый член, учитывающий кривизну волнового фронта, опущен ввиду малой расходимости пучка после коллиматора.

Величины параметров  $T_i$  и  $T_c$  могут быть определены на основе соотношений:

$$\Gamma(x, x) = I(x) = I_0 \exp(-8 \cdot x^2 \cdot T_i^2 / D^2), \quad (3)$$

$$\gamma(x_1, x_2) = \frac{\bar{\Gamma}(x_1, x_2)}{\sqrt{I(x_1)I(x_2)}}, \quad (4)$$

и, поскольку при равенстве освещенностей от щелей функция видности  $V(x_1, x_2)$  равна модулю комплексной степени когерентности  $|\gamma(x_1, x_2)|$ , то на основании (2):

$$V(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{2 \cdot (x_1 - x_2)^2 \cdot T_c^2}{D^2}\right). \quad (5)$$

Для используемого в макете анализатора спектра акустооптического модулятора на кристалле  $\text{TeO}_2$  с медленной сдвиговой акустической волной аппроксимация измеренных функции видности и распределения интенсивности

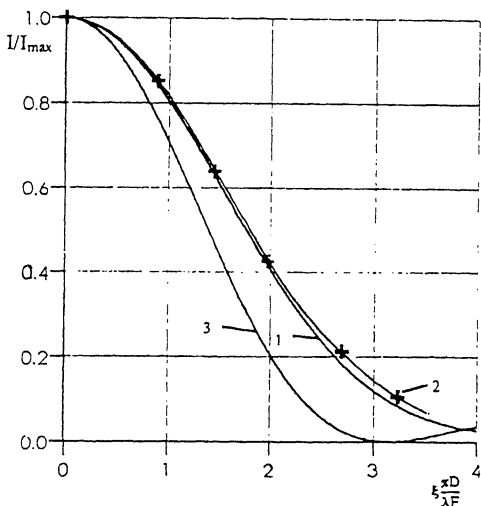


Рис. 2. Энергетическая аппаратная функция акустооптического анализатора спектра: 1 — рассчитанная по формуле (2); 2 — измеренная; 3 —  $\sin^2(\xi \frac{D}{\lambda F})$ .

в плоскости  $p - n$  перехода соответствующими гауссоидами (3) и (5) дает:  $T_i = T_c = 0.776$ . Для этих значений параметров отсечки с использованием соотношений, полученных в [5], была рассчитана энергетическая аппаратная функция фурье-процессора [8], график которой приведен на рис. 2 (кривая 1). Здесь же изображена измеренная аппаратная функция макета АОС (кривая 2), а также функция  $\sin^2(\xi \cdot D/\lambda \cdot F)$  (кривая 3). Последняя представляет собой аппаратную функцию “идеального” анализатора энергетического спектра, соответствующую измеренному значению действующей апертуры акустооптического модулятора, для которого  $T_i = T_c = 0$ , а разрешение максимально.

Поскольку частотное разрешение анализатора спектра мощности оценивается полушириной его энергетической аппаратной функции, то уширение главного максимума последней по сравнению с  $\sin^2(\xi \cdot D/\lambda \cdot F)$  (при той же эффективной апертуре) характеризует ухудшение разрешения относительно предельно достижимого значения. В данном случае расчетная величина относительного уширения аппаратной функции на полувысоте составляет с учетом сглаживания элементом фотоприемника 27% (уширение за счет сглаживания составляет 4%). Отметим, что это почти в три раза превышает парциальное уширение главного лепестка аппаратной функции, вызванное гауссовым распределени-

ем интенсивности в лазерном пучке. Относительное увеличение полуширины измеренной аппаратной функции макета АОС составило  $29 \pm 3.5\%$ .

Следует отметить, что по имеющимся оценкам влияние на полуширину аппаратной функции расходимости и затухания акустической волны в акустооптическом модуляторе в нашем случае оказывается меньшим, чем погрешность измерений, составляющая 3.5%.

Хорошее совпадение расчетной и измеренной аппаратных функций АОС (кривые 1 и 2 на рис. 2) позволяет заключить, что принятая в [5] расчетная модель удовлетворительно описывает влияние частичной пространственной когерентности излучения инжекционного лазера на разрешение АОС и позволяет получить оценки, согласующиеся с экспериментальными данными. При этом выбор параметров модели должен производиться исходя из характеристик используемого типа инжекционного лазера.

Полученные результаты подтверждают также вывод о возможном значительном увеличении полуширины аппаратной функции АОС с инжекционным лазером в случае, если плоскость лазерного волновода совпадает с плоскостью акустооптического взаимодействия, и коэффициент использования энергии лазерного пучка достаточно велик. Причем, если для одномерных АОС такой ситуации можно избежать, используя, при необходимости, вращатель плоскости поляризации лазерного излучения, то в двумерных акустооптических процессорах, как, например, в [9,10] такой возможности нет, и учет результатов проведенного анализа становится необходимым для достижения максимально возможного разрешения фурье-процессора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 96-02-17405а.

### Список литературы

- [1] Carter R.W., Willats T.F. // The Marconi Review. 1981. V. 44. N 220. P. 57-76.
- [2] Золотарев А.И., Калашников С.П., Кондратьев В.А., Морозов В.Н. // Труды физического института им. П.М. Лебедева. 1987. Т. 185. С. 90-163.
- [3] Evtihiev N.N., Perepelitsa V.V., Ezerkina N.A. et al. // Journ. of Modern Optics. 1989. V. 36. N 12. P. 1551-1557.
- [4] Физика полупроводниковых лазеров: Пер. с японск. / Под ред. Х.Такумы. М.: Мир. 1989. 310 с.
- [5] Саенко И.И., Бардышев А.О. // Журнал технической физики. 1996 (в печати).
- [6] Russian Laser Market, Byers Guide, Polyus-Marketing Co. Ltd. Moscow. 1994. 184 p.

- [7] *Friberg A.T., Sudol R.J.* // *Optical Commun.* 1982. V. 41. N 6. P. 383-384.
- [8] *Гусев О.Б., Кулаков С.В., Разживин Б.П., Тизин Д.В.* *Оптическая обработка сигналов в реальном времени.* М.: Радио и связь. 1989. 136 с.
- [9] *Carter J.A., Pape D.R.* // *Proc. SPIE.* 1992. V.1704. P. 76-87.
- [10] *Koontz M.D.* // *Proc. SPIE.* 1994. V. 2236. P. 26-30.

Поступило в Редакцию  
11 июля 1996 г.

---