

ВЛИЯНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА
РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

В. А. Кондратьев, Ю. М. Попов, В. И. Пустовойт,
Г. И. Семенов

УДК 535.534

Рассмотрены особенности дифракции излучения инжекционных лазеров на объемных акустических волнах. Определены оптимальные условия, обеспечивающие максимальное число позиций, разрешимых акустооптической отклоняющей ячейкой.

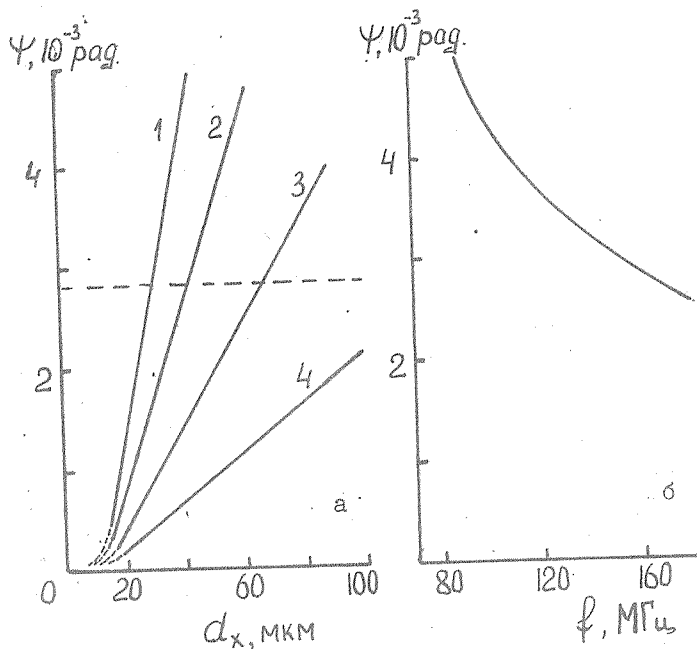
Хорошо известно /1/, что полупроводниковые инжекционные лазеры могут весьма эффективно применяться в системах оптической обработки информации. На их основе могут быть созданы компактные, быстродействующие устройства с малым энергопотреблением, в частности, например, отклоняющие устройства с использованием акустооптических ячеек /2/. Однако инжекционные лазеры, по отношению к другим типам лазеров, имеют ряд особенностей, связанных с технологией их изготовления и способом накачки. Когерентность излучения инжекционных лазеров зависит от геометрии излучающей области и режима работы лазера /3/. Известно также, что взаимодействие излучения с акустической дифракционной решеткой, создаваемой распространяющейся в кристалле ультразвуковой волной, зависит от длины волны и когерентности падающего излучения. Поэтому в данной работе исследовалось влияние когерентности излучения инжекционных лазеров на эффективность работы отклоняющих устройств, использующих дифракцию света на объемных акустических волнах.

Как известно /4/, эффект акустооптического взаимодействия основан на явлении дифракции света на структуре с периодическим изменением показателя преломления среды, возникающей в

кристалле при возбуждении в нем ультразвуковой волны. Направление на первый дифракционный максимум определяется соотношением $\sin\theta = \lambda f/V$, где λ — длина волны падающего света, f — частота, V — скорость ультразвуковой волны в кристалле. При изменении частоты ультразвука на Δf , дифрагировавший пучок отклоняется на угол $\Delta\theta = \lambda \Delta f / V \cos\theta$. Известно, что число разрешимых позиций отклоняющего устройства определяется отношением полного угла отклонения $\Delta\theta$, при изменении акустической частоты в полосе Δf , к угловой расходимости ψ дифрагировавшего пучка. Известно также [4], что расходимость дифрагировавшего пучка определяется меньшей из расходимостей падающей световой и распространяющейся в кристалле акустической волн с учетом дифракции на апертуре ультразвуковой ячейки и неоднородностях материала звукопровода. При использовании в качестве источника излучения инжекционного лазера угловой размер падающего на ячейку светового пучка в плоскости p - n перехода, определяется, в первую очередь, размером d_x излучающей области и связанной с ним степенью пространственной когерентности источника, а также шириной спектра излучения $\Delta\lambda$. Таким образом, при использовании инжекционного лазера, находящегося в передней фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием F , число позиций, разрешимых акустооптической ячейкой, определится величиной $N = \lambda \Delta f / V \cos\theta \psi (\lambda/D, d_x/F, \Delta\lambda)$, где D — апертура акустооптической ячейки.

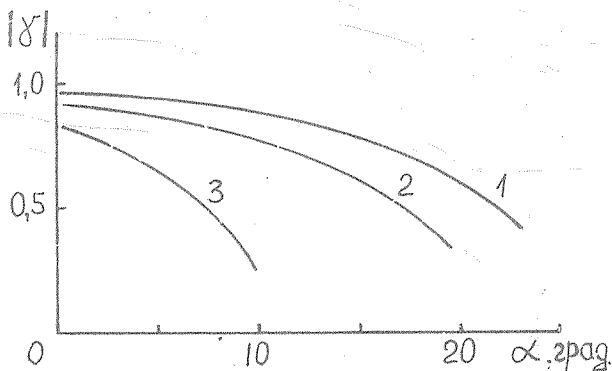
Экспериментальные исследования проводились с полупроводниковыми инжекционными лазерами на GaAs, работающими в непрерывном и импульсном режимах генерации, как при температуре жидкого азота, так и при комнатной температуре. Ультразвуковые ячейки выполнялись из монокристаллов молибдата свинца и плавленого кварца в виде прямоугольных параллелепипедов, с оптической апертурой 20 мм. На торец ячейки наносился пьезопреобразователь на основе пленки сульфида кадмия толщиной ~ 10 мкм и размером 8×1 мм². В ячейке возбуждалась бегущая продольная акустическая волна. При электрической мощности управляющего сигнала 1 Вт, эффективность дифракции для ячеек из PbMoO₄ составила 40%.

На рис. 1а приведена зависимость углового размера ψ (кривые 1-4) дифрагировавшего пучка от размеров излучающей области



Р и с. 1. а) Зависимость углового размера дифрагировавшего пучка от размеров излучающей области инжекционного лазера при фокусных расстояниях коллимирующего объектива 10, 20, 30 и 50 мм (кривые 1 - 4 соответственно). б) Зависимость расходимости акустической волны от частоты ультразвука в ячейке из кристалла PbMoO_4

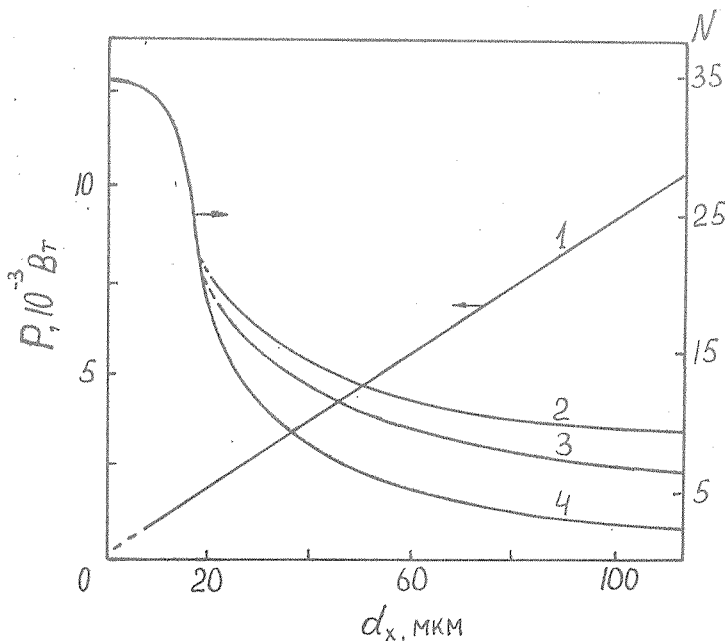
инжекционного лазера. Увеличение фокусного расстояния коллимирующего объектива, как известно, уменьшает расходимость пучка, но увеличивает потери энергии. Кривые 1-4 сняты при $F = 10, 20, 30$ и 50 мм. Зависимость расходимости акустической волны в ячейке из PbMoO_4 от частоты ультразвука показана на рис. 1б. Верхняя рабочая частота устройства составляет 160 МГц. При угловом размере дифрагировавшего пучка, величина которого лежит выше пунктирной линии (рис. 1а), число разрешимых позиций дефлектора близко к 1. В этом случае устройство работает в режиме модуляции интенсивности.



Р и с. 2. Зависимость модуля функции пространственной когерентности излучения инжекционного лазера от углового расстояния между симметричными относительно оси точками в диаграмме направленности. Кривые 1, 2, 3 сняты для лазеров с размером излучающей области 1,5 мкм, 10 мкм и 30 мкм соответственно

На рис. 2 показана зависимость модуля функции пространственной когерентности γ от углового расстояния α между точками наблюдения (в дальней зоне излучения), симметричными относительно оси диаграммы направленности, для инжекционных лазеров с различной шириной излучающей области р-п перехода. Измерение пространственной когерентности производилось по обычной методике с использованием бипризмы Френеля. Кривая 1 снята для инжекционного лазера, работающего в непрерывном режиме генерации при температуре жидкого азота с размером излучающей области $\sim 1,5$ мкм, кривая 2 — для лазера с размером излучающей области ~ 10 мкм и кривая 3 — для лазера с размером излучающей области ~ 30 мкм. Измерения проводились при превышении тока накачки над пороговым значением на 20%. Излучение можно считать практически когерентным в пределах угла, соответствующего спаду модуля функции пространственной когерентности до уровня 0,5. Для инжекционных лазеров с зависимостью $|\gamma|$ от α , представленной на рис. 2, угол полной когерентности равен 22° , 17° и 7° соответственно. Вырезание из диаграммы направленности лазера когерентного участка (когерентность инжекционного лазера в

плоскости перпендикулярной р-п переходу всегда значительно выше, чем в плоскости параллельной р-п переходу) дает возможность сфокусировать падающий на дефлектор пучок до дифракционного предела. Получающийся при этом минимально возможный угловой размер дифрагировавшего пучка обеспечивает максимально возможное число разрешимых дефлектором позиций. При оптической апертуре $D = 2$ мм для дефлектора из PbMoO_4 имеем $N_{\text{max}} = 35$. Если излучение инжекционного лазера полностью пространственно когерентно, то размер излучающей области не влияет на



Р и с. 3. Зависимость мощности излучения в первом порядке брэгговской дифракции (кривая 1) и числа разрешимых акустооптической ячейкой позиции (кривые 2-4) от размеров излучающей области инжекционного лазера. Кривые 2, 3, 4 сняты при фокусном расстоянии коллимирующего объектива 50, 30 и 20 мм соответственно

число разрешимых позиций, которое в таком случае определяется по обычной формуле $N = \Delta \alpha f / V \cos \theta$ /4/. Для инжекционных лазеров, характер поведения модуля функции пространственно когерентности которых представлена на рис. 2, для получения максимального числа позиций необходимо применять коллимирующий объектив с относительным отверстием 2,5 для лазера с $d_x = 1,5$ мкм; 3,5 - для $d_x = 10$ мкм; 11,5 - для $d_x = 30$ мкм.

На рис. 3 представлен график зависимости мощности излучения инжекционных лазеров (кривая 1) и числа разрешимых акустооптической ячейкой позиций (кривые 2-4) от размера излучающей области. Как известно, в режиме развитой генерации для непрерывных инжекционных лазеров, работающих при температуре жидкого азота, коэффициент съема мощности с единицы длины излучающей области $k = 10$ Вт/мм. В то же время, как правило, увеличение размера излучающей области приводит к ухудшению пространственной когерентности излучения. Как видно из рисунка (кривая 4), например, для лазера с размером излучающей области 70 мкм, число разрешимых акустооптической ячейкой позиций равно 5, мощность излучения в первом порядке дифракции $\sim 7 \cdot 10^{-3}$ Вт. Для лазера с размером излучающей области 10 мкм число позиций ($N = 32$) близко к максимально возможному, но мощность в этом случае менее 10^{-3} Вт.

Приведенные результаты получены для изотропной брэгговской дифракции света на продольных объемных акустических волнах в кристаллах молибдата свинца. Если в качестве материала звукопровода использовать кристалл парателлурита (TeO_2), то при определенной геометрии акустооптического взаимодействия возможна анизотропная дифракция Брэгга /5/. В этом случае при той же апертуре ультразвуковой ячейки и полосе частот число разрешимых позиций в несколько раз больше ($N = 130$). Однако в то же число раз уменьшается быстродействие устройства.

В заключение авторы выражают благодарность за полезное суждение работы В. Н. Морозову, а также Ф. Л. Визену и В. М. Захарову за практическую помощь.

Поступила в редакцию
24 сентября 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. Н. Г. Басов и др., в кн. Оптические методы обработки информации, под ред. С. Б. Гуревича, "Наука", Л., 1974 г., с. 94.
2. Ф. Л. Визен и др., Квантовая электроника, 2, 2540 (1975).
3. П. Г. Елисеев, Полупроводниковые лазеры и преобразователи, ВИНТИ, Итоги науки и техники, сер. Радиотехника, т. 14, ч. 1, М., 1978 г.
4. Л. Н. Магдич, В. Я. Молчанов, Акустооптические устройства и их применение, "Советское радио", М., 1978 г.
5. М. Ф. Брыжина, С. Х. Есаян, ЖТФ, 47, 1937 (1977).