

### Литература

1. Кондратюк В.Ф., Гурский Н.Н. Интегрированная система проектирования конструкций произвольной структуры. Министерство образования РБ, фонд алгоритмов и программ.
2. Акимов В.А. Применение операторного подхода к решению задач теории упругости. //Современные проблемы механики и математической физики. // Воронеж, 1994 г.

## ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ

*Зубрицкий В.В.*

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*

Цель настоящего сообщения—ознакомить студентов, как будущих инженеров, исследователей с конкретным примером использования физических свойств кристаллических решеток для улучшения технических характеристик приборов — полупроводниковых излучателей. Для преподавателей соответствующих дисциплин может быть полезно с методической точки зрения.

Практическое использование различных типов твердотельных лазеров непрерывно расширяется. Этот бесспорный факт стимулирует, с одной стороны, необходимость разработки новых лазерных систем и, с другой стороны, совершенствование имеющихся излучателей. Поскольку, как правило, определяющим для инвесторов является соотношение между достигаемым (планируемым) суммарным положительным эффектом и соответствующими затратами, то пристальное внимание уделяется, в первую очередь, основным параметрам излучателей, среди которых коэффициент полезного действия, выходная мощность излучения. Очевидно, что при прочих равных параметрах эти две взаимосвязанные характеристики определяют конкурентоспособность изделия.

Однако будущему инженеру наверняка должно быть известно, что даже с учетом современного развития лазерной техники для увеличения к.п.д., выходной мощности лазера применения только технических решений сегодня уже, как правило, недостаточно. Наиболее эффективный путь при

решении подобной задачи состоит в сочетании конструкторских разработок и фундаментальных физических свойств среды. Первые могут “намекать” на наличие неизученных процессов, в то время как вторые “подсказывают” конкретные способы решения. При прогнозном анализе можно утверждать, что если в лазерном кристалле какие-либо физические процессы изучены недостаточно, то всегда существует отличная от нуля вероятность их использования в качестве ресурса для улучшения заданных технических параметров устройств.

Проследим указанную взаимосвязь *физика—техника* на примере полупроводникового излучателя на кристалле CdS, возбуждаемого электронным пучком через щелевую диафрагму, соблюдая при этом хронологию этапов исследований.

Изучая зависимость мощности суперлюминесценции и лазерной генерации в пластинах сульфида кадмия, вырезанных из слитка вдоль оптической оси, авторы [1] обнаружили зависимость выходной мощности излучателей от расположения щелевой диафрагмы. Выходная мощность примерно вдвое возростала, когда коллинеарную относительно оси  $c$  ориентацию полосковой области возбуждения заменяли на ортогональную. Такой эффект был получен как при продольном, так и поперечном способе возбуждения. Поскольку другие условия эксперимента не изменялись, то энергетический выигрыш очевиден.

Очевидно и другое: чтобы полезный эффект использовать на практике не просто механически, а осмысленно, уметь прогнозировать ожидаемые результаты для других кристаллов и т.п. необходимо раскрыть его физическую природу. Такая попытка предпринята в [1]. Однако здесь мы не будем останавливаться на анализе предложенного объяснения. Отметим только, что комбинированная гипотеза [1] сводится к представлению кристаллической пластины в виде квадратной микрофонной мембраны, вибрирующей, вследствие воздействия электронного пучка, около положения равновесия для обеспечения в образце механических напряжений и соответствующего неоднородного уширения полосы усиления. Неадекватность модели эксперименту легко устанавливается и потому естественно, что в количественных оценках [1] “ориентационная” анизотропия мощности суперлюминесценции и генерации отсутствует.

Иная попытка реализована в [2], где для объяснения обсуждаемой анизотропии мощности генерации предложена физическая модель, основанная на фундаментальном свойстве кристаллов, известном как фокусировка фононов [3,4]. Само по себе явление фокусировки фононов обусловле-

но анизотропией упругих свойств кристаллов. В случае пьезоэлектриков, каковым является сульфид кадмия, дополнительный вклад обуславливается анизотропией пьезоэлектрических свойств. На первый взгляд, казалось бы, к лазерной генерации фокусировка фононов отношения не имеет, поскольку суть явления, вкратце, состоит в следующем.

Если кристалл подвергается какому-либо воздействию от, например, точечного источника, то, как отклик на это воздействие, в нем возбуждаются акустические волны. Вследствие наличия пьезоупругой анизотропии соответствующие волновые поверхности не являются сферами, и вектора групповых скоростей акустических волн не коллинеарны волновым векторам. Эта неколлинеарность приводит к тому, что в телесных углах, охватывающих окрестности определенных кристалло-графических направлений, плотность векторов групповых скоростей оказывается больше, чем в соседних направлениях. Указанное превышение характеризуется коэффициентом фокусировки, численное значение которого может на порядки превышать единицу.

Однако, как показано в [2], связь этого физического явления с мощностью генерируемого излучения (суперлюминесценции)—технической характеристикой устройства, —может быть легко установлена, если рассматривать процесс лазерной генерации в общем виде на основе закона сохранения энергии.

Действительно, распространение упругих волн в любой среде связано с переносом энергии [5]. Следовательно, если абстрагироваться от различного рода утечек, имеющих “технический” характер, то потери энергии, запасенной в объеме активной среды в результате накачки, должны быть связаны с распространением акустических волн из активной в пассивную область кристалла. Поскольку же вследствие явления фокусировки распространение акустических волн анизотропно, то и распределение связанных с ними энергетических потерь также анизотропно.

Учет анизотропии энергетических потерь, выполненный в [2] на основе данных по фокусировке фононов в CdS [4] для экспериментальных условий [1], обеспечивает соответствие численных значений параметра анизотропии мощности как генерации, так и суперлюминесценции с экспериментальными для обоих способов возбуждения, а значит и возможность предсказания мощностных характеристик излучателей с полосковой областью возбуждения при различных видах накачки.

Таким образом, рассмотренный пример показывает, что “поведение” технической характеристики может быть прогнозировано путем числен-

ных расчетов анизотропии концентрирования энергии, переносимой акустическими волнами в материале активной среды. Такого рода взаимосвязь между элементами технической и фундаментальной физики, очевидная на современном этапе, и в дальнейшем будет усиливаться. Эта тенденция, как видно из выше изложенного примера, стимулирует необходимость сочетания технической подготовки будущих инженеров, исследователей с подготовкой фундаментальной, свойственной, как правило, университетам. Естественный выход в реализации подобного рода задач лежит на пути создания технических университетов—симбиозов технических и фундаментальных знаний. Можно полагать, что и проводимая конференция вносит определенный вклад в решение этой проблемы.

#### Литература

1. М.М.Зверев, А.В.Кутковой, В.К.Якушин. Квантовая электроника, 1996, т. 23, N 4, с. 295-298.
2. В.В.Зубрицкий. В кн.: Труды III конф. по лазерной физике и спектроскопии. - Минск: ИФ НАНБ, 1997. -с. 267-269.
3. В.Taylor, H.J.Maris, C.Elbaum. Phys. Rev. B, 1971, vol. 3, no. 4, p. 1462-1472, J.P.Wolfe. Physics Today, 1995, vol. 48, no. 9, p. 34-40.
4. В.В.Зубрицкий. ФТГ, 1996, т. 38, N 1, с. 56-62.
5. Ф.И.Федоров. Теория упругих волн в кристаллах.-М.: Наука, 1965. —387 с.

### УЧЕТ ПОПРАВКИ НА СДВИГ ПРИ РАСЧЕТЕ ЧАСТОТ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Холодарь Б.Г.*

*Брестский политехнический институт*

Расчет собственных частот поперечных колебаний валов, критических частот вращения роторов турбин с расположенными на них дисками является одним из наиболее ответственных моментов их проектирования.

Эти расчеты базируются на технической теории изгиба стержней, которая для участка стержня одинакового сечения дает уравнение [1]:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho F \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$