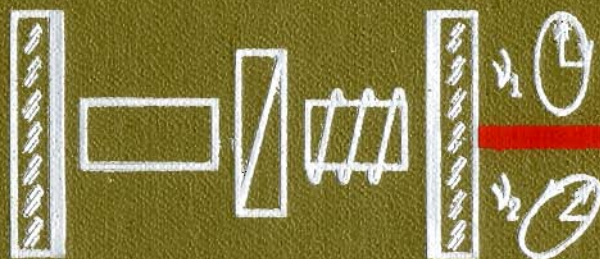


А.П. Войтович, В.Н. Севериков

ЛАЗЕРЫ С АНИЗОТРОПНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ



ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АН БССР

А.П.Войтович, В.Н.Севериков

ЛАЗЕРЫ

С АНИЗОТРОПНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ

МИНСК
«НАУКА И ТЕХНИКА»
1988

УДК 621.373.826

Войтович А. П., Севериков В. Н. Лазеры с анизотропными резонаторами. — Минск: Наука и техника, 1988. — 271 с. — ISBN 5—343—00258—7.

Изложена методика расчета характеристик лазеров с резонаторами, содержащими анизотропные элементы. Рассмотрены типичные конкретные примеры анизотропных лазеров, влияние анизотропии на характеристики излучения, генерируемого линейными и кольцевыми лазерами и лазерами со связанными резонаторами. Большое внимание уделяется управлению поляризацией и частотой генерации с помощью анизотропных элементов, описанию возможностей использования анизотропных резонаторов в гиометрии и для определения оптических констант веществ.

Книга рассчитана на научных сотрудников и аспирантов, специализирующихся в области квантовой электроники, а также инженеров, занимающихся разработкой лазеров и прецизионных систем на их основе. Может быть использована студентами соответствующих специальностей.

Табл. 7. Ил. 63. Библиогр. — 217 назв.

Редактор
академик АН БССР
Б. В. Бокуть

Рецензенты:
д-р физ.-мат. наук А. М. Самсон,
канд. физ.-мат. наук А. П. Хапалюк

2403000000—048

В М316(03)—88 71—88

М316(03)—88

ISBN 5—343—00258—7

© Издательство
«Наука и техника», 1988.

БВ 40804

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1985 г. отмечался 25-летний юбилей создания лазеров. Прошедшие годы не исчерпали запаса идей, заложенных в лазерной физике, она и теперь еще интенсивно развивается. Ее становление оказало глубокое преобразующее воздействие на другие области физики, в первую очередь на оптику, открыло новые перспективы в химии и биологии. Лазеры проникают в различные сферы деятельности человека: в связь, информатику, энергетику и медицину. Интенсивное развитие предопределяет и требует обобщающих работ в области квантовой электроники оптического диапазона.

Характеристики излучения лазера определяются свойствами усиливающей (активной) среды и резонатора. Эти свойства без принятия специальных мер всегда, хотя и в разной степени, анизотропны, т. е. различны для волн различной поляризации. Анизотропны обычно зеркала резонатора и часто активные среды (без учета их нелинейных свойств) — те элементы, без которых вообще невозможно создание лазера. Лазер с изотропным резонатором и изотропной в отсутствие генерации активной средой также обычно анизотропен, поскольку анизотропны нелинейные свойства активной среды. Именно анизотропия нелинейных свойств среды определяет поляризацию волн, излучаемых изотропным в отсутствие генерации лазером. Этот фундаментальный результат лазерной физики имеет большое принципиальное значение и демонстрирует общие закономерности научного познания.

Анизотропия резонатора и активной среды влияет на все параметры генерируемого излучения: энергетические, частотные, поляризационные и временные. Знание закономерностей этого влияния позволяет не только глубже понимать физику лазеров, но и разрабатывать и оптимизировать методы и средства управления параметрами генерации. Поэтому обобщение результатов исследований свойств лазеров с анизотропными резонаторами представляется актуальным, а также практически важным и полезным.

Открытые лазерные резонаторы могут быть классифицированы на линейные, кольцевые и связанные. В соответствии с этой классификацией в данной работе последовательно рассматриваются характеристики излучения лазеров с такими

резонаторами. Анализируются как параметры лазеров в стационарном режиме генерации, так и кинетика изменения этих параметров. Особое внимание уделено описанию характеристик лазеров с конкретными анизотропными устройствами в резонаторе. Подобные лазеры широко применяются для прецизионных измерений, например в точном машиностроении и гиromетрии, а также для получения излучения с управляемыми параметрами. Представленные здесь данные могут быть использованы для обоснованного выбора инженерных решений при создании конкретных лазерных систем, а также для анализа свойств анизотропных оптических интерферометров. Некоторые примеры применения таких лазеров для прецизионных измерений приведены в последней главе.

Рассмотрение всех вопросов ведется с помощью метода, основанного на использовании векторов и матриц Джонса. Преимущество такого метода состоит в том, что он позволяет учесть изменение поляризации волн при их прохождении через резонатор. Каждый элемент резонатора при этом характеризуется соответствующей квадратной матрицей, определяющей трансформацию амплитуды, фазы и поляризации проходящей через него волны. Эти матрицы и их связь с параметрами элементов приведены в главе 1. Активная среда лазера описывается некоторой матрицей, зависящей от интенсивностей взаимодействующих волн.

На основе используемого в работе метода получены дифференциальные уравнения, определяющие кинетику энергетических, частотных и поляризационных параметров генерируемых волн с учетом нелинейных свойств активной среды. Уравнения позволяют изучать временную эволюцию параметров, а также находить их стационарные значения и исследовать устойчивость стационарных режимов генерации. Конкретный подробный анализ проведен на примере газовых двух- и четырехволнового кольцевого и двухчастотного линейного лазеров с активной средой в магнитном поле.

Авторы выражают глубокую признательность академику Н. А. Борисевичу за плодотворные обсуждения ряда работ, отраженных в данной монографии. Авторы сердечно благодарят редактора Б. В. Бокутя, рецензентов А. М. Самсона и А. П. Хапалюка, а также Л. П. Свирину и А. Я. Смирнова за обсуждение и советы, способствующие улучшению книги.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1	
Векторы и матрицы Джонса	
§ 1.1. Методы описания поляризованного излучения	5
§ 1.2. Векторы Максвелла — Джонса	10
§ 1.3. Матрицы Джонса	17
1.3.1. Матрицы основных оптических элементов (19).	
1.3.2. Преобразование матриц при изменении системы координат (26).	
1.3.3. Теоремы оптической эквивалентности (31)	
§ 1.4. Матрицы сред, обладающих несколькими типами анизотропии	32
Глава 2	
Характеристики собственных типов колебаний лазеров с линейными анизотропными резонаторами	
§ 2.1. Собственные типы колебаний и условия стационарной генерации	39
§ 2.2. Связь поляризационных, частотных и амплитудных характеристик резонатора с элементами матрицы Джонса	50
2.2.1. Соотношения, связывающие характеристики собственных типов колебаний и элементы матрицы Джонса (50).	
2.2.2. Определение поляризационных характеристик некоторых типов резонаторов по элементам матрицы Джонса (52).	
2.2.3. Связь между поляризационными характеристиками встречных волн (55).	
2.2.4. Матрицы Джонса сложных анизотропных устройств (59)	
§ 2.3. Поляризация стоячей волны в линейном лазере	63
§ 2.4. Формирование поляризаций собственных типов колебаний	68
§ 2.5. Характеристики лазеров с конкретными анизотропными устройствами в резонаторе	71
2.5.1. Изотропный в отсутствие генерации лазер (72).	
2.5.2. Лазеры с линейно анизотропными резонаторами (74).	
2.5.3. Лазеры с циркулярно анизотропными резонаторами (90).	
2.5.4. Лазеры с резонаторами, содержащими циркулярно и линейно анизотропные элементы (92)	

Глава 3

Характеристики кольцевых лазеров с анизотропными резонаторами

- § 3.1. Связь между параметрами собственных типов колебаний анизотропных кольцевых резонаторов 99
- 3.1.1. Общие соотношения (99). 3.1.2. Связь характеристик встречных волн для некоторых типов резонаторов (102)
- § 3.2. Амплитудные, частотные и поляризационные характеристики кольцевых лазеров с невязанными устройствами, содержащими циркулярно магнитоанизотропный элемент 109
- 3.2.1. Лазеры с амплитудной невязанностью встречных волн (111). 3.2.2. Лазеры с частотной невязанностью встречных волн (114)
- § 3.3. Кольцевые лазеры с поляризационной невязанностью 127

Глава 4

Лазеры со связанными анизотропными резонаторами

- § 4.1. Характеристики лазеров со связанными линейными анизотропными резонаторами 135
- 4.1.1. Преобразование волн анизотропным интерферометром (135). 4.1.2. Лазеры с линейными трехзеркальными анизотропными резонаторами (143). 4.1.3. Лазеры с анизотропными резонаторами типа Фокса—Смита и Майкельсона (147)
- § 4.2. Лазеры со связанными кольцевыми анизотропными резонаторами 153
- 4.2.1. Преобразование волн анизотропными кольцевыми интерферометрами (153). 4.2.2. Характеристики кольцевых лазеров со связанными анизотропными резонаторами (156)
- § 4.3. Характеристики кольцевого анизотропного лазера со связью встречных волн через обратное отражение 160

Глава 5

Влияние нелинейных свойств активной среды на характеристики излучения лазеров с анизотропными резонаторами

- § 5.1. Уравнения генерации 169
- § 5.2. Восприимчивость газовой среды в поле двух сильных бегущих волн 175
- § 5.3. Характеристики двухволнового кольцевого газового лазера 191
- 5.3.1. Кинетические уравнения и время установления стационарных параметров генерируемого излучения (191). 5.3.2. Амплитудные, частотные и поляризационные характеристики в стационарном режиме генерации (194). 5.3.3. Лазеры с резонаторами, содержащими конкретные анизотропные элементы (202)
- § 5.4. Характеристики двухчастотного линейного газового лазера 209

5.4.1. Восприимчивость газовой среды в поле четырех сильных бегущих волн (209). 5.4.2. Уравнения генерации линейных лазеров с анизотропными резонаторами (213). 5.4.3. Лазеры с конкретными анизотропными элементами в резонаторе (217)

Глава 6

Применение лазеров с анизотропными резонаторами для прецизионных измерений

§ 6.1. Лазерные внутрирезонаторные измерения фазовой анизотропии	227
§ 6.2. Фазово-поляризационная внутрирезонаторная лазерная спектроскопия	234
6.2.1. Фазово-поляризационная нелинейная спектроскопия высокого разрешения (234). 6.2.2. Фазово-поляризационные методы определения оптических постоянных (239)	
§ 6.3. Лазерные методы измерения угловых скоростей вращения	243
6.3.1. Улучшение характеристик лазерного гироскопа при модуляции разности частот встречных волн (246). 6.3.2. Лазерные гироскопы с фазовыми невязанными элементами на основе магнитооптического эффекта Керра (247)	
Приложение	250
Заключение	254
Литература	256
Предметный указатель	267