

К. т. н. Я. М. БОНДАРЧУК

Украина, г. Львов, Научно-производственный комплекс «Полярон»  
E-mail: bond@org.lviv.net

Дата поступления в редакцию  
05.01 — 12.05 2006 г.

Оппоненты д. ф.-м. н. З. Д. КОВАЛЮК  
(ЧО ИПМ, г. Черновцы),  
к. ф.-м. н. А. И. КЛОЧКО  
(ЦКБ "Арсенал", г. Киев)

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Предлагается конструкция стабилизированного по частоте гелий-неонового лазера с длиной волны излучения 1,5231 мкм. Стабилизация осуществляется с использованием дополнительного видимого излучения с длиной волны 0,6328 мкм.*

Развитие современных телекоммуникаций тесно связано с развитием лазерной техники. В настоящий момент в большинстве систем передачи информации используются диодные и твердотельные лазеры с излучением в ближней инфракрасной области спектра. Рынок телекоммуникационных лазеров расширяется благодаря постоянному росту количества волоконно-оптических систем.

В ряде применений упомянутые типы лазеров не обеспечивают достаточную информационную емкость каналов передачи. Последняя определяется энергетическими, частотными и пространственными характеристиками выходного излучения. Поэтому актуальным является разработка новых типов лазеров, которые более полно удовлетворяли бы современным требованиям. С этой точки зрения перспективными могут быть газовые лазеры, которые характеризуются высокой когерентностью и однородностью излучения.

He-Ne-лазеры позволяют обеспечить индуцированное излучение приблизительно на 200 переходах [1]. Наиболее изученными являются видимые переходы неона  $3s_2-2p_i$  ( $i=1\div 10, \neq 9$ ) [2]. Среди них максимальное усиление достигается на переходе  $3s_2-2p_4$  ( $\lambda=0,6328$  мкм). Сравнительно легко достигается генерация на инфракрасных  $2s_2-2p_i$ -переходах, среди которых максимальное усиление имеет линия  $\lambda=1,523$  мкм ( $2s_2-2p_4$ ). Гелий-неоновый лазер, работающий на переходе  $2s_2-2p_1$  с излучением на  $\lambda=1,5231$  мкм, впервые был исследован авторами [3]. Длительное время данному переходу не уделялось достаточного внимания, однако успехи волоконной оптики, развитие систем телекоммуникаций вынудили изменить отношение к нему.

Оптимальные условия генерации на переходе  $2s_2-2p_1$  были изучены в [4]. Установлено, что оптимальные соотношения парциальных давлений наполнения активных элементов гелия и неона соответствуют 9:1. Разряд постоянного тока с применением в конструкции холодного катода обеспечивает коэффициент насыщенного усиления  $10 \text{ \%}\cdot\text{м}^{-1}$ . При длинах раз-

рядного промежутка 650 мм мощность исходного излучения в основной моде в [4] превышала 2,5 мВт.

Использование одночастотного лазера с  $\lambda=1,523$  мкм позволит минимизировать потери в оптическом волокне, снизить уровень шумов. Созданию конструкции такого лазера и ее исследованию посвящена настоящая работа.

Наиболее распространенными схемами, используемыми для стабилизации частот в лазерах средней мощности, являются терморегулятивные схемы поддержания постоянства длины резонатора, что отвечает балансу интенсивности ортогонально поляризованных мод. В случае идентичных конструкций лазеров величина полуволновой температуры пропорциональна длине волны излучения лазера. Поэтому такие схемы наиболее часто используются для лазеров видимого диапазона [5]. Непосредственное использование указанных схем не позволяет получать высокие значения стабильности и воспроизводимости частоты излучения — из-за более низкой чувствительности величины сигнала разбаланса к изменению температуры несущих конструкций резонатора.

Нами предложено в качестве опорного сигнала подстройки длины резонатора использовать излучение видимого диапазона, которое генерируется одновременно с основным излучением. Учитывая эффекты взаимодействия лазерных переходов в смеси "гелий—неон", наиболее подходящим для этой цели следует считать переход с  $\lambda=0,6328$  мкм ( $3s_2-2p_4$ ). Этот квантовый переход не связан с рабочим ( $\lambda=1,5231$  мкм) переходом. Учитывая также, что оптимальные условия генерации для рабочего и опорного лазерных переходов практически не отличаются, для реализации одновременной генерации излучения на обеих длинах волн излучения необходимо применить зеркала резонатора лазера с оптимальными спектральными параметрами на длинах волн 1,5231 и 0,6328 мкм.

Используя метод синтеза интерференционных зеркал в приближении эквивалентного слоя [2, 6], мы получили структуры интерференционных покрытий — в случае "выходного" зеркала:

$$S_0(2,4B,2,4H)_5(B,H)_8H, \lambda=0,633 \text{ мкм}; \quad (1)$$

в случае "глухого" зеркала:

$$S_0(2,4B,2,4H)_8(B,H)_8H, \lambda=0,633 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где  $S_0$  — подложка из материала оптического бесцветного стекла марки К-8;

$B$  — ZnS;

$H$  —  $\text{Na}_3\text{Al}_6$ .

Измеренные спектры отражения зеркал (1) и (2), изготовленных методом вакуумного резистивного распыления тонких пленок из материалов сернистого цинка и криолита, представлены на **рис. 1**. Видно, что коэффициенты отражения зеркал резонатора на длине волны  $\lambda=0,6328$  мкм довольно высоки, что достаточно для возбуждения генерации.

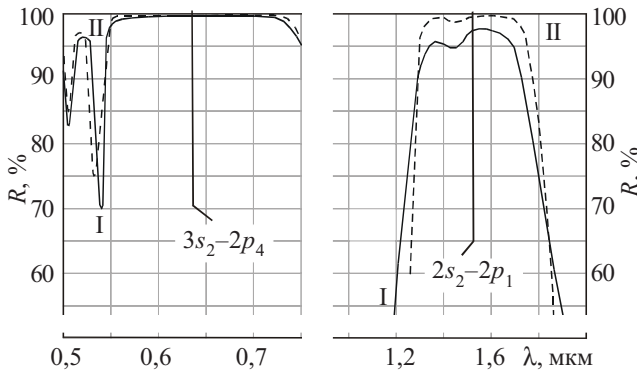


Рис. 1. Спектры отражения зеркал оптического резонатора, которые обеспечивают одновременную генерацию на длинах волн 0,6328 и 1,5231 мкм:

I — тонкопленочная структура (1); II — тонкопленочная структура (2)

Исследованиям подвергнуты три лазера, в которых использовались модернизированные газоразрядные трубки гелий-неонового лазера типа ЛГН-303 (**рис. 2**). Оптический резонатор был образован плоским и сферическим ( $r=0,5$  м) зеркалами с тонкопленочными структурами (1) и (2).

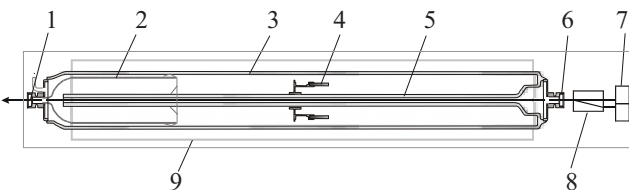


Рис. 2. Схема частотно-стабилизированного 1,5231 мкм гелий-неонового лазера:

1 — “выходное” зеркало резонатора; 2 — катод; 3 — стеклянный цилиндр; 4 — газопоглотители; 5 — разрядный капилляр; 6 — “глухое” зеркало резонатора; 7 — двухсекционный фотоприемник; 8 — поляризационная призма; 9 — нагревательный элемент

Полученные значения мощности в максимуме одночастотной генерации на  $2s_2-2p_1$ -переходе со стороны сферического “выходного” зеркала составляли до 0,5 мВт. Уровни мощности излучения на длине волны опорной генерации со стороны плоского “глухого” зеркала резонатора были порядка 0,1 мВт.

Проведенный анализ спектрального состава излучения исследуемых лазеров с внутренними зеркалами показал, что на переходе с  $\lambda=0,6328$  мкм реализуется генерация на двух ортогонально поляризованных модах. Изменение мощности  $P$  в одночастотном режиме на основном лазерном переходе в процессе изменения длины резонатора колеблется от 0 до максимального его значения (**рис. 3**). Это обстоятельство предъявляет дополнительные требования к электронной системе обработки управляющего сигнала термостабилизации длины резонатора.

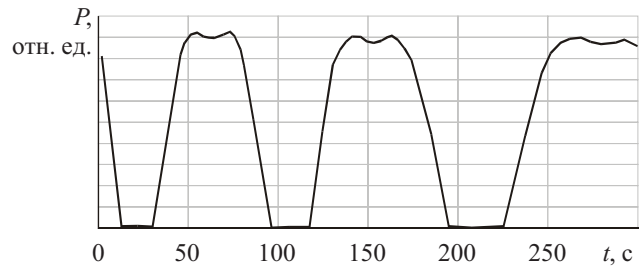


Рис. 3. Временная зависимость относительного уровня мощности одночастотной генерации на 1,5231 мкм

В наших исследованиях была использована система автоподстройки лазера ЛГН-303. После начального прогрева в течение 30 мин система выходила на режим стабилизации. Процесс захвата регистрировался по изменению отношения интенсивностей ортогонально поляризованных мод опорного излучения. Разделение мод осуществлялось используемой в излучателе (рис. 2) поляризационной призмой из исландского шпата. Регистрация интенсивностей мод проводилась с помощью двухсекционного фотодиода.

Полученная величина нестабильности выходной мощности в режиме стабилизации была не выше 1%. Относительная нестабильность частоты, оцененная методом сбивания частот двух лазеров, во всех случаях была не хуже  $1 \cdot 10^{-8}$  за 0,5 ч.

\*\*\*

Таким образом, лазеры с внутренними зеркалами и с длиной волны излучения  $\lambda=1,5231$  мкм, стабилизированные по опорной генерации  $\lambda=0,6328$  мкм, обладают значительно лучшими характеристиками, чем аналогичные полупроводниковые лазеры. В тех телекоммуникационных устройствах, где нет повышенных требований к уровням мощности излучения, предложенный тип лазера может быть весьма эффективным.

Следует также отметить, что предложенная схема стабилизации частоты по опорному излучению в видимой области спектра может быть использована при разработке He-Ne-лазеров, которые излучают на других инфракрасных переходах группы  $2s_2-2p_i$ .

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Справочник по лазерам. Т. 1 / Под ред. А. М. Прохорова.— М.: Сов. радио, 1978.
2. Бондарчук Я. М., Возняк Р. М., Корбещкий Р. В., Привалов В. Е. Гелий-неоновые лазеры на слабых переходах неона // Обзоры по электронной технике. Сер. Лазерная техника и оптоэлектроника.— 1990.— Вып. 8.
3. McFarlane R. A., Patel C. K. N., Bennet W. R., Faust W. L. New helium-neon optical maser transitions // Proc. IRE.— 1962.— Vol. 50, N 10.— P. 2111—2112.
4. Бондарчук Я. М., Возняк Р. М., Привалов В. Е. Исследование энергетических характеристик He-Ne лазера на  $\lambda=1,5231$  // Оптика и спектроскопия.— 1991.— Т. 70, вып. 1.— С. 244—245.
5. Бондарчук Я. М., Власов А. И., Возняк Р. М. и др. Стабилизация частоты излучения лазера с внутренними зеркалами на длине волны 0,61197 мкм // Там же.— 1989.— Т. 66, вып. 4.— С. 948—950.
6. Бондарчук Я. М., Довгий Я. О. Теоретические и технологические аспекты синтеза лазерных зеркал (обзор) // Физика и химия твердого тела.— 2002.— Т. 3, № 2.— С. 199—214.