

Комбинированная накачка компактного HCN-лазера с дуплексным резонатором

Ю.Е.Каменев

Описан волноводный HCN-лазер с длиной активной среды 0.5 м, резонатор которого содержал полуволновое фазовое зеркало и две плоскопараллельные скрещенные под углом 90° одномерные проволочные решетки. Возбуждение активной среды производилось переменным током (50 Гц) и высокочастотным излучением (40.7 МГц). Исследовалась зависимость мощности лазерного излучения от длины резонатора при различных азимутальных положениях фазового зеркала относительно решеток. Установлено, что генерация лазерного излучения возникала при всех без исключения азимутах – от нуля до 360°.

Ключевые слова: HCN-лазер, комбинированное возбуждение, одномерная проволочная решетка, двугранное зеркало.

Применение в качестве зеркал лазерного резонатора одномерных проволочных решеток и 90-градусного двугранного зеркала позволяет эффективнее использовать активную среду в аксиальном направлении, повышая тем самым мощность лазерного излучения [1].

С целью более эффективного использования активной среды в поперечном направлении нами исследовалось ее комбинированное возбуждение ВЧ излучением с добавкой постоянного, импульсно-периодического или низкочастотного тока [2]. При этом, как показали эксперименты, наиболее перспективным является комбинированное возбуждение активной среды ВЧ излучением и импульсно-периодическим или низкочастотным разрядом. Одним из достоинств комбинированного возбуждения можно считать возможность применения при одних и тех же энергозатратах двух низкоэнергетических источников.

Целью настоящей работы является создание электродинамической лазерной структуры с оптимальным взаимодействием электромагнитного поля с активной средой для повышения мощности лазерного излучения. Схема HCN-лазера представлена на рис.1.

Резонатор лазера волноводного типа образован стеклянным волноводом с внутренним диаметром 38 мм, глухим зеркалом в виде 90-градусного двугранного отражателя и выходным зеркалом в виде двух скрещенных под углом 90° одномерных проволочных решеток с различным пропусканием, установленных относительно друг друга на расстоянии $l_1 = (2n + 1)\lambda/4$ (где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$; $\lambda = 337$ мкм). В экспериментах использовались две пары решеток. В первой паре внутренняя решетка 1 имела шаг 50 мкм и толщину проволоки 10 мкм (50 × 10 мкм), а наружная решетка 2 – шаг 30 мкм и толщину 8 мкм (30 × 8 мкм); во второй паре параметры решетки 1 составляли 30 × 8 мкм, а решетки 2 – 30 × 15 мкм. Разрядная трубка,

одновременно выполняющая роль волновода, содержала два патрубках с электродами в виде танталовых стаканов [3]. Между патрубками, на наружной поверхности разрядной трубки, были установлены два цилиндрических электрода длиной 100 мм для подключения ВЧ генератора, которые могли продольно перемещаться. В качестве источника ВЧ излучения использовался терапевтический аппарат УВЧ-66 (частота 40.7 МГц, мощность излучения до 90 Вт), адаптированный к условиям физического эксперимента. Остальные конструктивно-технические параметры лазера и режимные условия были стандартными.

Экспериментально измерялась зависимость мощности лазерного излучения от продольного перемещения двугранного отражателя при различных дискретных азимутах его относительно решеток.

При использовании первой пары решеток для нулевого азимута (проволоки решетки 1 параллельны ребру двугранного зеркала) наблюдались области генерации излучения [1], поляризованного параллельно проволокам как решетки 1, так и решетки 2 ($\lambda = 337$ мкм). Кроме того, имела место генерация излучения на $\lambda = 311$ мкм, поляризованного параллельно проволокам решетки 1. При 90-градусном азимуте наблюдалась генерация

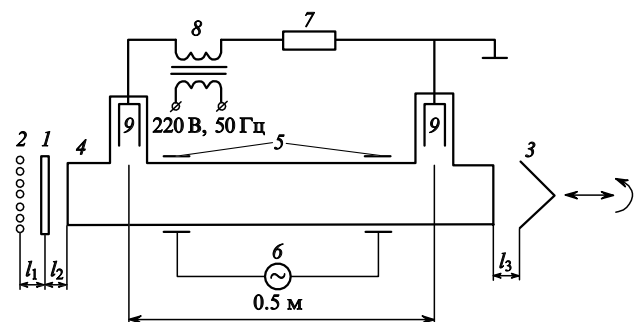


Рис.1. Схема излучателя лазера:

1, 2 – одномерные проволочные решетки; 3 – 90-градусный двугранный отражатель; 4 – стеклянный волновод; 5 – ВЧ электроды; 6 – ВЧ генератор; 7 – балластное сопротивление; 8 – высоковольтный трансформатор; 9 – электроды; $l_1 \approx l_2 \approx l_3 \approx 2$ см.

с низкой интенсивностью излучения ($\lambda = 337$ мкм), поляризованного параллельно проволокам решетки 1. При всех других азимутах аналогично [1] генерация происходила с изменением поляризации и модового состава излучения. Низкую интенсивность излучения в этом случае можно объяснить как явлением «колющей» и «гладящей» поляризацій относительно отражающих поверхностей двугранного зеркала [4], так и высоким пропусканием решеток 1 и 2 для данной длины лазера.

Далее были проведены аналогичные исследования с применением в качестве выходных зеркал второй пары решеток. Этот вариант представляется более интересным, т. к. для него интенсивность излучения при всех азимутальных положениях значительно выше, чем при использовании первой пары решеток. При этом для нулевого и 90-градусного азимутов наблюдалась генерация двух мод – EH_{11} и $\text{TE}_{01} + \text{EH}_{21}$ ($\lambda = 337$ мкм), поляризованных параллельно проволокам решетки 1. На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость мощности лазерного излучения от перемещения вдоль оси лазера двугранного зеркала при 45-градусном азимуте. Получено увеличение мощности, что объясняется более эффективным взаимодействием электромагнитного поля с активной средой. В этом случае при разряде низкочастотного тока (среднее значение 0.3 А) возникал периодический сигнал колоколообразной формы [3] со скважностью 2. Измеренная средняя мощность составила 2 мВт. Дополнительная ВЧ накачка (~ 50 Вт) приводила к увеличению разрядного тока в 1.5 раза, интенсивности лазерного излучения в 3 раза и к уменьшению скважности почти до единицы.

Эксперименты, проведенные с разрядной трубкой меньшего диаметра (35 мм), показали, что интенсивность лазерного излучения была примерно в 3 раза меньше, чем для трубки диаметром 38 мм. При этом можно отметить более сильное увеличение интенсивности моды $\text{TE}_{01} + \text{EH}_{21}$ при дополнительной ВЧ накачке по сравнению с ее увеличением в моде EH_{11} .

Что касается особенностей полученных результатов, то подробное рассмотрение работы возбуждаемого разрядом постоянного тока HCN-лазера с дуплексным резонатором было проведено нами ранее в [1]. Необходимо добавить, что пропускания решеток 1 и 2 должны различаться примерно на порядок, при этом пропускание внутренней решетки примерно равно оптимальному для данной активной среды.

Таким образом, можно отметить, что предложенная лазерная модель продемонстрировала свою работоспособность и, по-видимому, применима для других лазеров субмиллиметрового диапазона. Показано, что при 45-градусном азимуте двугранного зеркала исследуемый

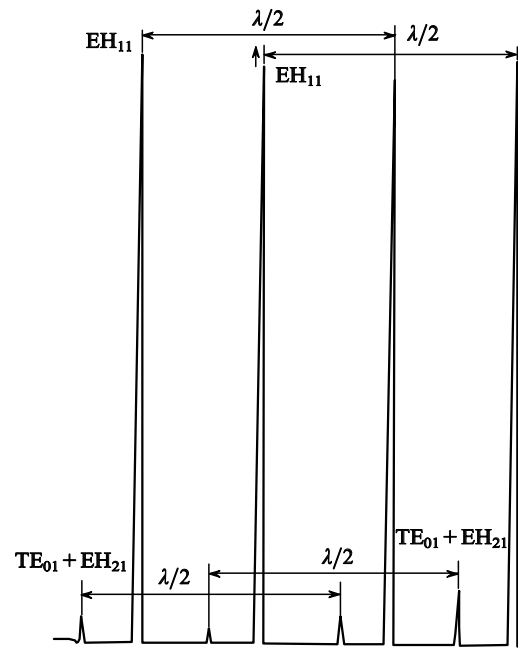


Рис. 2. Зависимость мощности лазерного излучения на $\lambda = 337$ мкм от перемещения двугранного зеркала (азимут 45°) для второй пары решеток с размерами 30×8 мкм и 30×15 мкм. Короткой стрелкой показана поляризация всех пиков излучения.

лазер позволяет реализовать режим двойного прохода волны через активную среду, при этом резонансная длина задается решетками 1 и 2 (см. рис. 1), а двугранное зеркало служит как бы дополнительным отражателем. Поляризация лазерного излучения определяется направлением проволок более «редкой» решетки, а его мощность в 2 раза больше, чем при нулевом азимуте двугранного зеркала по отношению к проволокам этой решетки. Кроме того, для дальнейшего совершенствования исследуемой лазерной модели необходимо провести оптимизацию диаметра разрядной трубки и параметров выходных решеток, более подробно исследовать зависимость мощности лазерной генерации от различных азимутальных положений двугранного зеркала, а также оптимизировать состав и давление активной среды аналогично [5].

1. Каменев Ю.Е., Кулешов Е.М., Филимонова А.А. *Квантовая электроника*, **22**, 111 (1995).
2. Каменев Ю.Е., Филимонова А.А. *Радиофизика и электроника*, **6**, № 2–3, 294 (2001).
3. Каменев Ю.Е. *Радиофизика и электроника*, **5**, № 1, 160 (2000).
4. Каменев Ю.Е., Кулешов Е.М. *Квантовая электроника*, **17**, 58 (1990).
5. Cooper S.J. *Appl. Opt.*, **37**, 4881 (1998).