

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА YAG-Nd<sup>3+</sup>

Н. М. Галактионова, Г. А. Гаркави, В. Ф. Егорова и А. А. Мак

Исследованы энергетические, пространственные и спектральные характеристики излучения лазера непрерывного действия на основе кристаллов YAG-Nd<sup>3+</sup>. Изучены особенности получения одноимодового режима генерации.

Требование низких пороговых энергий накачки и высокой термостойкости ограничивают число кристаллов, способных работать в лазере непрерывного действия. До настоящего времени наиболее подходящими для этой цели являются кристаллы флюорита, активированного двухвалентным диспрозием, и иттрий-алюминиевый гранат, активированный неодимом [1-3]. Высокая механическая прочность и низкая пороговая энергия возбуждения при комнатной температуре делают кристаллы YAG-Nd<sup>3+</sup> наиболее перспективным материалом для использования в лазере с непрерывной накачкой.

В данной работе проведены исследования энергетических и спектральных характеристик излучения лазера непрерывного действия на основе иттрий-алюминиевого граната, изучены особенности спектральной селекции при различных уровнях энергии возбуждения.

Схема установки представлена на рис. 1. Кристалл 1 помещался в кварцевый цилиндрический осветитель 2 с посеребренной боковой и торцевыми поверхностями. Эффективность осветителя составляла ~0.5. В качестве источников накачки 4 использовались дуговые криптоновая или ксеноновая лампы, а также вольфрамовая иодная лампа накаливания. Конструкция обеспечивала возможность раздельного охлаждения: кристалла — протоком воды с расходом ~5 л/мин. и дуговых ламп — протоком нитрита натрия. При использовании лампы накаливания ее охлаждение осуществлялось протоком воздуха. Кристалл YAG-Nd<sup>3+</sup> (1.5% ат Nd<sup>3+</sup>) длиной 50 мм и диаметром 3 мм с плоскими торцами помещался в резонатор, образованный плоскими зеркалами 3 с диэлектрическими покрытиями. Длина резонатора составляла 20-30 см.

Спектральные исследования проводились с помощью интерферометра Фабри—Перо 5 в сочетании с электронно-оптическим преобразователем 6 для визуального наблюдения или фоторегистрацией. Кольца интерференции с помощью длиннофокусного объектива 7 локализовались в плоскости фотокатода ЭОПа или ИК фотоленки. Спектральное разрешение аппаратуры составляло ~0.015 Å. Пороговая энергия накачки при зеркалах с коэффициентом отражения равным ~100% в импульсном режиме с лампой типа ИСП-1000 составила 0.2 дж, в непрерывном режиме с ксеноновой дуговой лампой 200 вт, при использовании иодной лампы накаливания 470 вт. Следует отметить, что высокое качество кристалла и достаточно равномерное распределение излучения накачки по образцу обеспечивало генерацию излучения во всем объеме кристалла уже при незначительных превышениях порога.

Излучение лазера непрерывного действия обычно представляет собой хаотически следующие во времени пички. Стационарный режим может



быть получен в сферическом резонаторе при высокостабильных накачке и температуре образца [3], а также при отсутствии вибраций.

Исследование зависимости мощности генерируемого излучения от мощности, подводимой к ксеноновой лампе накачки, для разных коэффициентов пропускания выходного зеркала (рис. 2) позволило определить оптимальное пропускание частично прозрачного зеркала, которое оказалось близким к 12%, что соответствует неактивным потерям в кристалле равным  $\sim 0.005 \text{ см}^{-1}$ . Сравнительные данные об эффективности различных источников накачки приведены в таблице. Хорошее совпадение линий излучения криптона в области 0.81 мкм с полосой поглощения неодима [4] распешило наибольшую эффективность работы лазера при использова-

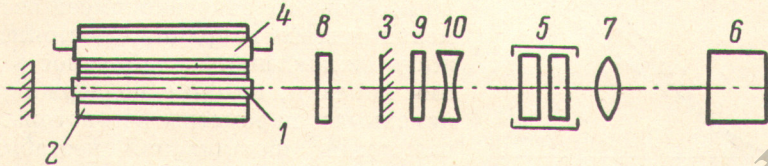


Рис. 1. Схема установки.

1 — кристалл, 2 — осветитель, 3 — зеркала резонатора, 4 — лампа накачки, 5 — эталон Фабри—Перо, 6 — ЭОП, 7 — линфофокусная линза, 8 — селектор, 9 — фильтр, 10 — рассеивающая линза.

нии криптоновой дуговой лампы. Максимальное значение мощности излучения в экспериментах составило 18 Вт при к. п. д. 0.42%. Для измерения термической деформации активного стержня при поглощении энергии накачки кристалл помещался в плечо интерферометра Маха—Цендера [5]. При накачке ксеноновой дуговой лампой мощностью 3 кВт в кристалле образуется положительная линза с фокусным расстоянием  $\sim 100$  см. Учитывая использованную длину резонатора, можно сделать заключение о том, что термическая деформация резонатора даже при столь высоких уровнях накачки не должна существенно влиять на энергетические параметры лазера, что подтверждается данными рис. 2.

$\tau, \%$	$P_n, \text{ Вт}$	Источники накачки					
		ксеноновая лампа		криптоновая лампа		иодная лампа накаливания	
		$P_r, \text{ Вт}$	$\eta, \%$	$P_r, \text{ Вт}$	$\eta, \%$	$P_r, \text{ Вт}$	$\eta, \%$
4.5	520	—	—	—	—	0.3	0.058
	910	0.4	0.044	1.1	0.12	1.3	0.144
	1400	0.95	0.068	2.4	0.17	—	—
	2700	3.1	0.087	6.1	0.23	—	—
	3700	4.4	0.12	—	—	—	—
12	1200	0.8	0.07	2.8	0.23	—	—
	1860	2.1	0.11	5.9	0.32	—	—
	2700	4.2	0.15	9.1	0.34	—	—
	3500	6.2	0.18	12.0	0.34	—	—
	4000	7.3	0.18	13.7	0.34	—	—

Примечание.  $\tau$  — пропускание полупрозрачного зеркала;  $P_n$  — мощность, подаваемая на лампу накачки;  $P_r$  — мощность генерируемого излучения;  $\eta$  — к. п. д. генератора.

Общая ширина спектра при накачке иодной вольфрамовой лампой, питаемой постоянным током, при двукратном превышении порога составляла  $0.6 \div 0.7 \text{ \AA}$ . Сужение спектрального распределения излучения осуществлялось селектором, представляющим собой прозрачную плоскопараллельную пластинку 8 (рис. 1) из стекла К-8 толщиной 2.6 мм (параллельность — 2", плоскостность — 0.1  $\lambda$ ). Селектор располагался внутри резонатора со стороны полупрозрачного зеркала под углом  $\sim 2^\circ$  к нему.



Юстировка осуществлялась наклоном селектора при наблюдении спектра на экране электронно-оптического преобразователя.

На рис. 3, а и б представлены фотографии спектра излучения при превышениях порога 10 и 60% соответственно. При небольших превышениях порога наблюдался один аксиальный тип колебаний, при увеличении мощ-

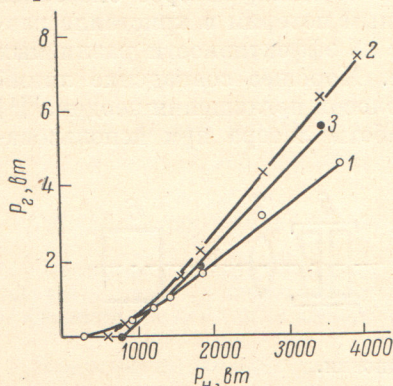


Рис. 2. Зависимость мощности излучения лазера от мощности накачки при возбуждении ксеноновой дуговой лампой и различным пропусканием выходного зеркала.

1 — 4.5, 2 — 12, 3 — 18%.

Кроме того, наблюдалось хаотическое смещение типов колебаний во времени.

Угловое расхождение излучения измерялось по пятну в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием равным 125 см. При превышениях порога, не превосходящих 2.5, угловое расхождение излучения со-

мощности накачки возбуждается два соседних аксиальных типа колебаний, определяемых длиной кристалла. При этом общая ширина спектра составляла  $\sim 0.06 \text{ \AA}$ . Следует отметить, что при работе лазера непрерывного действия в одномодовом режиме большое значение имеет отсутствие механических вибраций, постоянство режима охлаждения и стабильность излучения накачки, которые поддерживают неизменными параметры резонатора. В случае лампы накачивания нестабильность излучения накачки не превышала 0.5%. При возбуждении лазера криптоновой дуговой лампой, питаемой переменным током, спектральная картина излучения была менее устойчива, и при селекции возникало 2-3 линии излучения, соответствующие соседним аксиальным типам колебаний, определяемым длиной кристалла.

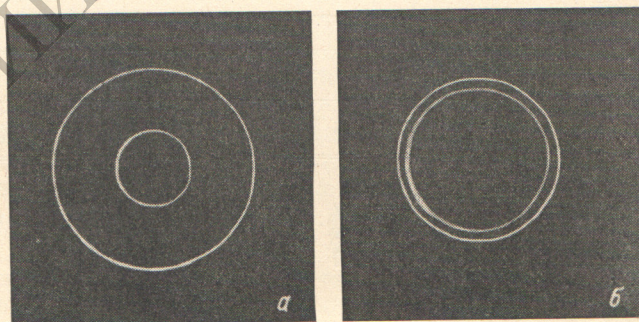


Рис. 3. Спектр излучения лазера (порядок регистрирующего эталона  $0.35 \text{ \AA}$ ) при превышении порога.

а — 10% — один аксиальный тип колебаний; б — 60% — два аксиальных типа колебаний, отстоящие друг от друга на  $0.062 \text{ \AA}$ .

ставляет  $\sim 3.3'$ , что соответствует преимущественному возбуждению типа колебаний  $TEM_{00}$ .

Лазеры непрерывного действия дают возможность получить излучение в режиме модулированной добротности с большой частотой повторения [6]. В данной работе был опробован режим с частотой повторения равной 500 гц и 1 кГц.

В резонаторе (рис. 1) вместо непрозрачного зеркала использовалась вращающаяся призма полного внутреннего отражения. При возбуждении



генерации криптоновой дуговой лампой пороговая мощность была равна 1400 вт. При двукратном превышении порога средняя мощность генерируемого излучения составляла 1 вт при частоте 500 гц, что соответствует 40 квт пиковой мощности при длительности импульса 50 нсек. Следует отметить, что эти предварительные данные не являются оптимальными. Некоторые конструктивные усовершенствования позволят значительно повысить частоту повторения и к. п. д. лазера периодического действия на основе  $YAG-Nd^{3+}$  с непрерывной накачкой.

#### Литература

- [1] В. В. Костин, Т. М. Мурина, А. М. Прохоров, В. Г. Удовенчик. ДАН СССР, 161, 806, 1965.
- [2] J. E. Geusic. IEEE J., QE-2, № 4, 1966.
- [3] Н. М. Галактионова, Н. Ф. Егорова, А. А. Мак. Опт. и спектр., 25, 305, 1968.
- [4] T. V. Read. Appl. Phys. Lett., 9, 342, 1966.
- [5] Ю. А. Ананьев, А. А. Мак. Опт. и спектр., 16, 1065, 1964.
- [6] R. G. Smith, M. F. Galvin. IEEE J., QE-3, № 10, 406, 1967.

Поступило в Редакцию 16 июня 1969 г.