



Сибирское отделение Российской Академии наук  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера

*А. УН  
1999*

В.В. Анциферов, Г.И. Смирнов

ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРОВ  
НА ИОНАХ НЕОДИМА  
В ГЕКСААЛЮМИНАТЕ ЛАНТАНА-БЕРИЛЛИЯ  
И САМОАКТИВИРОВАННОМ КРИСТАЛЛЕ  
РУБИДИЙ-НЕОДИМОВОГО ВОЛЬФРАМАТА

ИЯФ 98-99

<http://www.inp.nsk.su/publications>

БИБЛИОТЕКА  
Института ядерной  
физики СО АН СССР  
ИНВ. № *2207*



НОВОСИБИРСК

1998

*V*



Параметры генерации лазеров на ионах неодима в  
гексаалюминате лантана-бериллия и самоактивированном  
кристалле рубидий-неодимового вольфрамата

*В.В. Анциферов, Г.И. Смирнов*

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,  
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

Исследованы спектральные и энергетические характеристики излучения лазеров на ионах неодима в кристаллах гексаалюмината лантана-бериллия и самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата. Проведено сравнение параметров генерации исследованных лазеров с параметрами генерации лазера на гексаалюминате лантана-магния с неодимом.

Parameters of laser generation on neodymium ions in the  
lanthanum-beryllium hexaluminate and in self-activated of the  
rubidium-neodymium wolframate

*V. V. Antsiferov, G. I. Smirnov*

Budker Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch of Russian  
Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, Russia

Abstract

Spectral and energetic characters of the laser radiation on the neodymium ions in the crystals of the lanthanum-beryllium hexaluminate and self-activated crystal of the rubidium-neodymium wolframate are investigated. The comparison of the generation parameters on the lanthanum-magnesium hexaluminate with neodymium is conducted.

© Институт ядерной физики  
им. Г.И. Будкера СО РАН, Россия

1. Лазер на ионах неодима в гексаалюминате  
лантана-бериллия

Генерация ионов неодима в кристалле гексаалюмината лантана-магния ( $\text{Nd}^{3+}:\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$ , Nd:GALM) была получена впервые в работах [1,2]. Кристаллы Nd:GALM могут иметь достаточно высокую концентрацию ионов неодима (до  $7 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$ ) при слабом концентрационном тушении люминесценции. Сечение лазерного перехода  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  составляет  $3.2 \cdot 10^{-19} \text{см}^{-3}$ , а время жизни верхнего уровня равно 320 мкс, полуширина неоднородно уширенной линии усиления Nd:GALM – 3 нм. Спектрально-временные и энергетические параметры генерации лазера Nd:GALM(LNA) впервые были детально исследованы в работах [3,4].

Генерация ионов неодима в кристалле гексаалюмината лантана-бериллия ( $\text{Nd}^{3+}:\text{LaBeAl}_{11}\text{O}_{19}$ , Nd:GALB) была получена и исследована в работах [5,6]. Кристаллы Nd:GALB имеют твердость по Моосу  $\sim 7$  и плотность  $\sim 4.15 \text{г/см}^3$ . Время жизни верхнего уровня лазерного перехода  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  составляет 150 мкс при комнатной температуре. В спектрах поглощения исследованного кристалла Nd:GALB (рис.1) проявляется большое число линий, обусловленных переходами из основного состояния  ${}^4I_{9/2}$  на возбужденные уровни  ${}^4F$ ,  ${}^2H$ ,  ${}^4S$ ,  ${}^2G$ ,  ${}^4G$  и другие мультиплеты ионов неодима. Спектры люминесценции кристалла на переходе  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  (рис.2) значительно уширены, что свидетельствует о разупорядочной структуре кристалла.

1.1. Экспериментальная установка

В работе исследовался лазер на кристалле Nd:GALB размером  $\phi 3 \times 40 \text{мм}^3$  с плоскими зеркалами. Концентрация ионов неодима в кристалле составляла 5 весовых процента. Накачка осуществлялась лампой ИНП 5/45



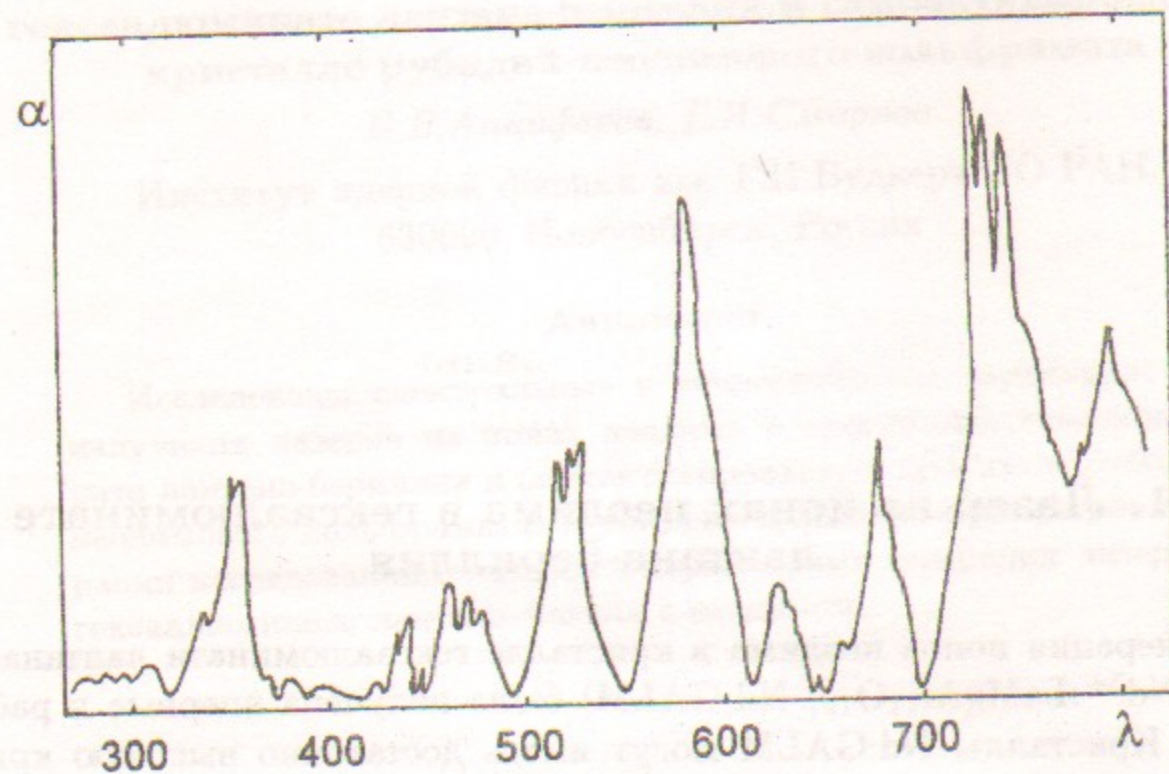


Рис. 1: Спектр поглощения ионов неодима ( $\text{Nd}^{3+}$ ) в кристалле гексаалюмината лантана.

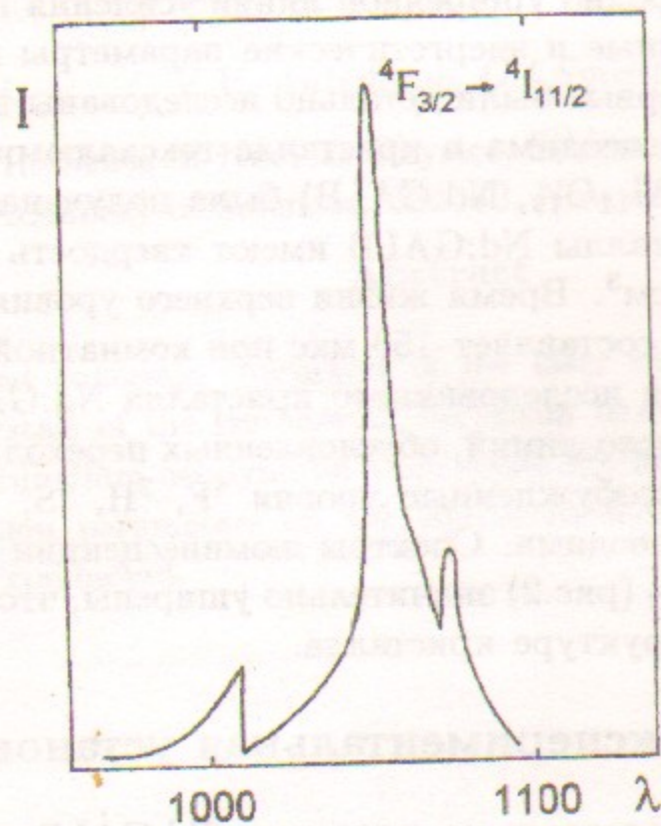


Рис. 2: Спектр люминесценции ионов неодима в кристалле гексаалюмината лантана-бериллия на переходе  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  при комнатной температуре.

в серийном квантроне с кварцевым цилиндрическим осветителем. Длительность импульса накачки составляла 250 мкс. Отсечка УФ-излучения накачки производилась жидкостным фильтром.

Регистрация спектра генерации проводилась посредством интерферометра Фабри-Перо и фотоаппарата. Кинетика генерации регистрировалась с помощью лавинного фотодиода ЛФД-2 и осциллографа С8-14. Энергия генерации измерялась прибором ИМО-2.

## 1.2. Энергетические и спектральные характеристики генерации

Зависимости энергий генерации  $E_g$  и пороговых энергий накачки  $E_t$  лазеров на кристаллах гексаалюминатов лантана-бериллия и лантана-магния от длины резонаторов  $L$  и температуры кристаллов  $T$  приведены на рис.3. Характер зависимости энергии генерации лазера Nd:GALB практически ничем не отличался от подобных зависимостей лазера Nd:GALM. С увеличением длины резонатора от 0.2 до 1.6 м при постоянной энергии накачки энергия генерации лазеров уменьшалась в три раза (рис.3,а). При этом эффективность генерации лазера Nd:GALB была несколько выше эффективности генерации Nd:GALM. В то же время при неизменной длине резонатора нагревание кристаллов от 10 до 80°C приводило к падению энергии генерации в 1,5 раза (рис.3,б). Поэтому значительное падение энергии генерации с ростом длины резонатора обусловлено, в основном, значительными термооптическими деформациями кристаллов, которые преобразуют плоский резонатор лазера в неустойчивый эквивалентный сферический резонатор с высокими потерями.

При больших энергиях накачки максимальная энергия генерации лазеров достигалась при коэффициентах пропускания выходного зеркала резонатора  $T_2$  порядка 70-80% (рис.4,а). В области небольших энергий накачки энергия генерации лазеров линейно зависела от энергии накачки (рис.4,б), а с ростом энергии накачки эта зависимость носила нелинейный характер, что связано с тепловыми деформациями резонаторов лазеров. Наведенные значительные тепловые деформации активных кристаллов, приводящие к образованию неустойчивого резонатора, не позволяют реализовать оптимальные для ионов неодима параметры резонатора (длина резонатора  $L = 2$  м, диаметры диафрагм  $\phi 2.0$  мм, выделяющих  $\text{TEM}_{00q}$  моды), с которыми достаточно просто достигается устойчивая квазистационарная генерация в лазерах на ионах неодима.

В режиме свободной генерации при небольших превышениях накачки над ее пороговым значением ширина интегрального спектра генерации



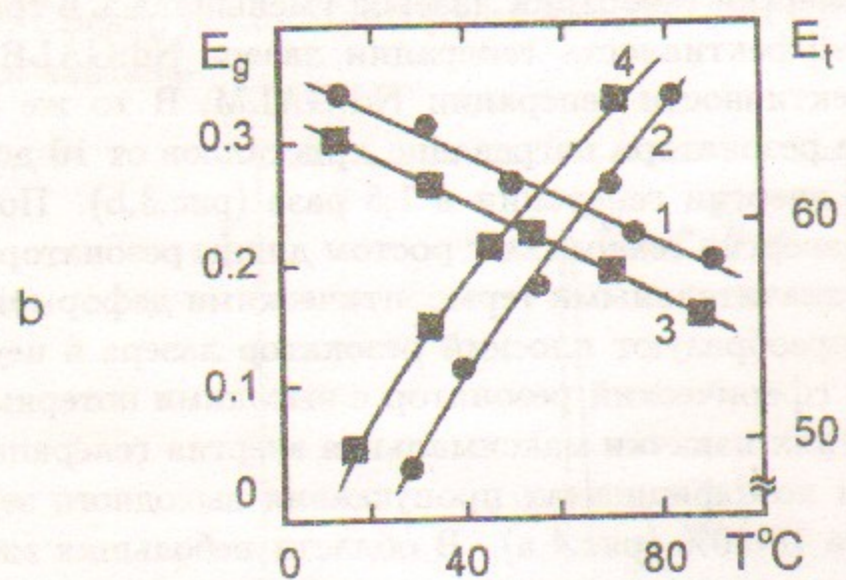
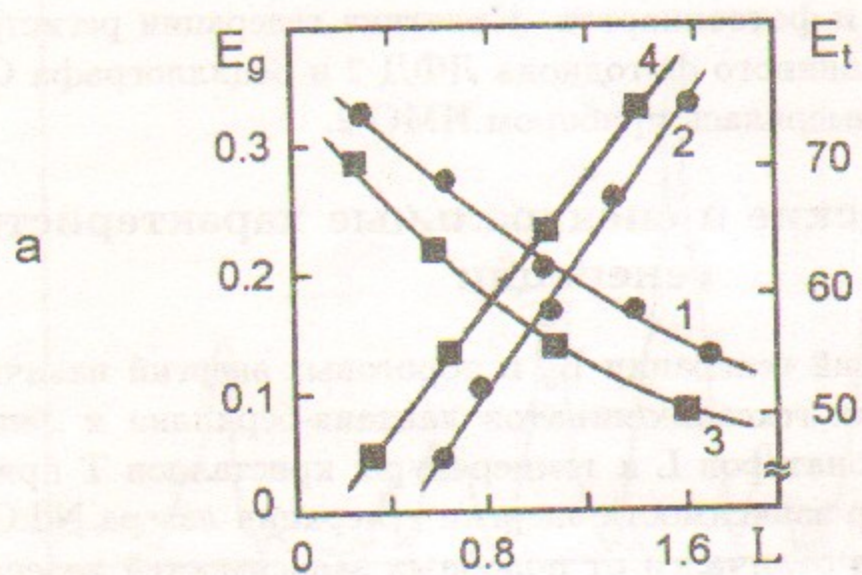


Рис. 3: *a*- зависимости энергий генерации  $E_g$  (Дж) (1,3) и пороговых энергий накачки  $E_t$  (Дж) (2,4) лазеров Nd:GALB (1,2) и Nd:GALM (3,4) от длины резонатора  $L$  (м) при комнатной температуре и энергии накачки  $E_p = 300$  Дж; *b*- зависимости энергий генерации  $E_g$  (Дж) (1,3) и пороговых энергий накачки  $E_t$  (Дж) (2,4) лазеров Nd:GALB (1,2) и Nd:GALM (3,4) от температуры кристаллов  $T$  (°C) при энергии накачки  $E_p = 300$  Дж и длине резонатора  $L = 0.3$  м.

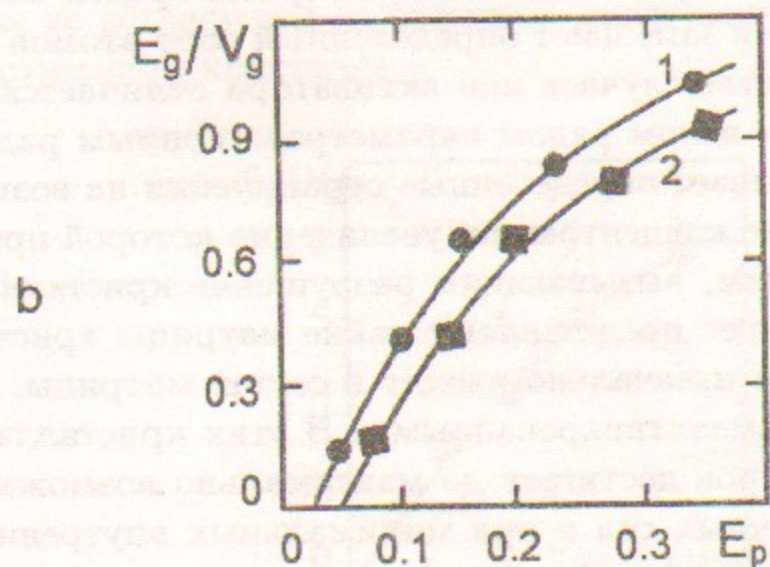
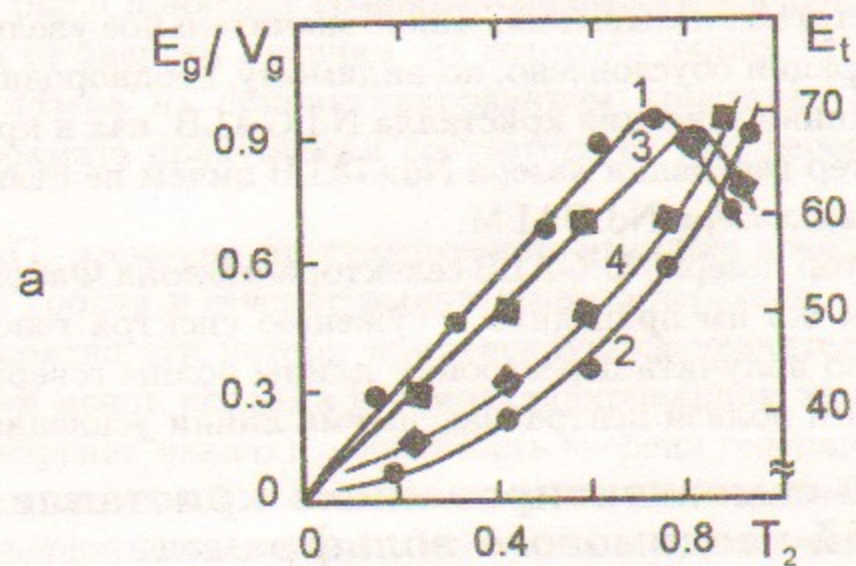


Рис. 4: *a*- зависимости удельных энергий генерации  $E_g/V_g$  (Дж/см<sup>3</sup>) (1,3) и пороговых энергий накачки  $E_t$  (Дж) (2,4) лазеров Nd:GALB (1,2) и Nd:GALM (3,4) от коэффициентов пропускания  $T_2$  выходного зеркала резонатора,  $E_p = 300$  Дж,  $L = 0.3$  м; *b*- зависимости удельных энергий генерации  $E_g/V_g$  (Дж/см<sup>3</sup>) лазеров Nd:GALB (1) и Nd:GALM (2) от энергии накачки  $E_p$  (кДж) при комнатной температуре и длине резонатора  $L = 0.3$  м.



лазера Nd:GALB составляла порядка 0.3 нм, как и в лазере Nd:GALM. В отсутствие паразитной селекции продольных мод ширина интегрально-го спектра лазера Nd:GALB возрастала с ростом энергии накачки и при двухкратном превышении энергии накачки над пороговой она составляла порядка 1 нм и достигала насыщения. Такое значительное увеличение ширины спектра генерации обусловлено, по-видимому, неоднородным характером уширения линии усиления кристалла Nd:GALB, как и кристалла Nd:GALM. Характер генерации лазера Nd:GALB ничем не отличался от характера генерации лазера Nd:GALM.

Введение в резонатор лазера Nd:GALB селектора-эталона Фабри-Перо с областью дисперсии 5.5 нм приводило к сужению спектра генерации до 0.05 нм и позволило получить перестройку длины волны генерации в диапазоне порядка 3 нм вблизи центра максимума линии усиления.

## 2. Лазер на самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата

В широко используемых кристаллических лазерных средах активные ионы являются примесью и замещают определенный сорт атомов решетки матрицы. В большинстве случаев ион активатора отличается от замещаемого иона матрицы целым рядом параметров: ионным радиусом, массой и др. Это накладывает определенные ограничения на возможности активации матрицы по концентрации, увеличение которой приводит к внутренним напряжениям, вызывающим разрушение кристалла. Поэтому существенный интерес представляют такие матрицы кристаллов, в которые активные ионы изначально входят в состав матрицы. Такие кристаллы называются самоактивированными. В этих кристаллах концентрация активных центров достигает до максимально возможной без искажения внутривещеточных сил и при минимальных внутренних напряжениях в матрице кристалла.

К таким самоактивированным кристаллам принадлежит кристалл  $RbNd(WO_4)_2$ , структура которого и параметры решетки были определены в работе [9]. Концентрация ионов неодима в кристалле составляет  $6 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ , время жизни верхнего рабочего уровня - 10 мкс, сечение лазерного перехода  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$  при комнатной температуре -  $2.5 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ , длина волны в максимуме линии люминесценции - 1065 нм, ширина линии усиления  $\sim 2$  нм. По своим параметрам кристалл рубидий-неодимового вольфрамата очень близок к параметрам кристалла калий-гадолиниевого вольфрамата (Nd:KGW). Некоторые характеристики излучения лазера на кристалле рубидий-неодимового вольфрамата были исследованы в [10].

В настоящей работе исследовался лазер на кристалле рубидий-неодимового вольфрамата с размерами кристалла  $\phi 3 \times 30 \text{ мм}^3$  на экспериментальной установке, описанной выше.

На рис.5 приведен график зависимости удельной энергии генерации лазера от энергии накачки, из которого видно, что дифференциальный КПД лазера на самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата практически соответствует дифференциальному КПД ла-

зера Nd:YAG, несмотря на существенно меньшее время жизни верхнего рабочего уровня и сечение вынужденного перехода.

Вероятно эти потери компенсируются значительно большей концентрацией ионов неодима в самоактивированном кристалле. При небольших энергиях накачки зависимость энергии генерации лазера была практически линейной, а с ростом энергии накачки наблюдалось отклонение от линейной зависимости. Это связано с тем, что с увеличением энергии излучения лампы накачки возрастает доля УФ-излучения накачки, которая не согласуется со спектром поглощения ионов неодима в самоактивированном кристалле.

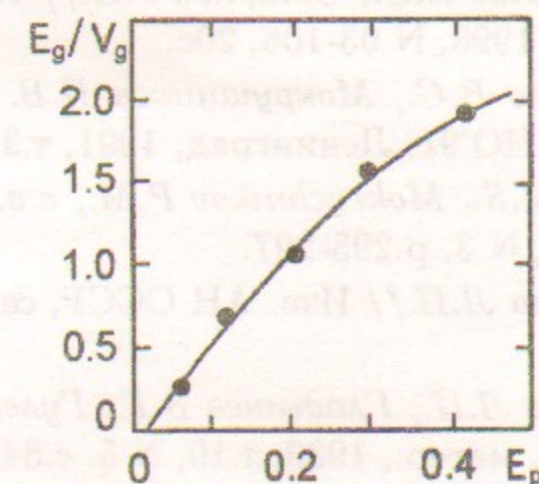


Рис. 5: Зависимость удельной энергии генерации  $E_g/V_g$  (Дж/см<sup>3</sup>) лазера на самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата от энергии накачки  $E_p$  (кДж) при комнатной температуре и длине резонатора  $L = 0.2$  м.

При устранении технических возмущений резонатора была получена устойчивая квазистационарная генерация  $TEM_{mnq}$  и  $TEM_{00q}$  мод лазера на кристалле рубидий-неодимового вольфрамата, как и на остальных широко распространенных неодимовых средах. Время затухания пере-



ходных пульсаций интенсивности излучения лазера на самоактивированном кристалле резко уменьшалось по сравнению с Nd:YAG лазером в соответствии со временем жизни верхнего рабочего уровня. Короткое время жизни верхнего рабочего уровня лазера на самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата обуславливает существенно меньшую чувствительность этого лазера к техническим возмущениям резонатора лазера. Это позволяет значительно проще получать квазистационарную генерацию лазера на самоактивированном кристалле, чем на других неодимовых средах

## Литература

- [1] Багдасаров Х.С., Дорожкин Л.М., Ермакова Л.А. и др.// Квант. электрон., 1983, т.10, N 8, с.1645-1651.
- [2] Багдасаров Х.С., Дорожкин Л.М., Кеворков А.М. и др.// Квант. электрон., 1983, т.10, N 5, с.1014-1016.
- [3] Анциферов В.В., Хабурзания Г.В.// Электрон. техника, сер. Лазерная техника и оптоэлектроника, 1991, вып.2(58), с.3-5.
- [4] Анциферов В.В., Иванов Е.В., Смирнов Г.И.// Препринт ИЯФ СО РАН, г.Новосибирск, 1993, N 93-106, 20с.
- [5] Алимпиев А.И., Гулев В.С., Мокрушников П.В. и др.// Тез. докл. XIV Межд. конф. КиНО'91, Ленинград, 1991, т.3, с.60-61.
- [6] Alimpiev A.I., Gulev V.S., Mokruchnikov P.M., e.a.// Crystal research technologe, 1995, v.30, N 3, p.295-297.
- [7] Клевцов П.В., Козеева Л.П.// Изв. АН СССР, сер. хим. наук, 1976, т.2, N 1, с.91-96.
- [8] Павлюк А.А., Козеева Л.П., Гладышев В.Г., Гулев В.С. и др.// Изв. АН СССР, сер. неорг. матер., 1983, т.19, N 5, с.847-848.
- [9] Павлюк А.А., Козеева Л.П.// Изв. СО АН СССР, сер. хим. наук, 1976, т.2, N 1, с.91-96.
- [10] Павлюк А.А., Козеева Л.П., Гладышев В.Г., Гулев В.С. и др.// Изв. АН СССР, сер. неорг. матер., 1983, т.19, N 5, с.847-848.

*В.В. Анциферов, Г.И. Смирнов*

**Параметры генерации лазеров на ионах неодима в гексаалюминате лантана-бериллия и самоактивированном кристалле рубидий-неодимового вольфрамата**

*V.V. Antsiferov, G.I. Smirnov*

**Parameters of laser generation on neodumium ions in the lanthanum-beryllium hexaluminat and in self-activated of the rubidium-neodymium wolframate**

ИЯФ 98-99

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 29.12. 1998 г.

Сдано в набор 30.12.1998 г.

Подписано в печать 30.12.1998 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0.8 печ.л., 0.7 уч.-изд.л.

Тираж 110 экз. Бесплатно. Заказ N° 99

Обработано на IBM PC и отпечатано на ротапинтере ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.