

**ПЕРЕСТРАИВАЕМАЯ В ДИАПАЗОНЕ 1,1 – 1,34 МКМ ГЕНЕРАЦИЯ
НА КРИСТАЛЛАХ NaF С ЦЕНТРАМИ ОКРАСКИ
В СХЕМЕ ЛАЗЕРА МАЛСАН-201**

Т.Т. Басиев, Ф.А. Вахидов, П.Г. Зверев, Н.А. Иванов, Д.Ф. Иншаков,
Ф.В. Карпушко, В.А. Конюшкин, С.Б. Мирон, В.Г. Пак,
А.Г. Папашвили, В.М. Хулугуров

Реализован эффективный перестраиваемый в области 1,1 – 1,34 мкм лазер на кристалле NaF с центрами окраски с накачкой излучением 1,06 мкм, стабильно работающий при 300 К.

Важной задачей квантовой электроники является создание широкодиапазонных плавно перестраиваемых по длине волны излучения лазеров. Большие возможности появляются при использовании в качестве активных элементов кристаллов с центрами окраски (ЦО).

В кристаллах NaF с примесью ионов гидроксила или двухвалентного металла при облучении их ионизирующим излучением создаются два типа лазерноактивных ЦО, поглощающих при $T = 77$ К в широких полосах с максимумами $\lambda_1 = 0,87$ и $\lambda_2 = 0,906$ мкм /1/. Природа этих центров в настоящее время является дискуссионной. В работах /1–3/ обсуждаются в качестве модели F_2^+ -подобные центры, в работах /2–5/ предполагается, что длинноволновая полоса поглощения обусловлена F_3^- -центрами, а в /5/ полосу 0,87 мкм приписали F_4^- -центрам. На рассмотренных ЦО реализована эффективная перестраиваемая в области 1,15 – 1,4 мкм генерация при накачке излучением лазера на F_2^+ -центрах в LiF /6/. Значительный интерес представляет получение генерации на кристаллах NaF с ЦО при возбуждении излучением основной гармоники $\lambda = 1,06$ мкм широко распространенного ИАГ – Nd^{3+} лазера. Первые опыты в этом направлении проведены авторами работы /7/, однако ими был получен лишь эффект генерации. Параметры выходного излучения измерить не удалось. Это связано с тем, что коэффициент активного поглощения на длине волны 1,06 мкм оказался невелик и сравним с паразитными потерями в области накачки и генерации.

В настоящей работе для повышения коэффициента активного поглощения на длине волны 1,06 мкм при малой величине неактивных потерь и выяснения фотоустойчивости активных оптических центров к воздействию излучения накачки использовались три типа кристаллов фторида натрия, различающихся как по примесному составу исходного материала, так и по условиям окрашивания. Данные по использованным кристаллам NaF приведены в табл. 1.

На рис. 1 представлены спектры поглощения вышеуказанных кристаллов, а также номинально чистого кристалла NaF, выращенного в вакууме и облученного при 300 К дозой $5,2 \cdot 10^4$ Кл/кг, записанные при 300 К, и спектры их свечения, измеренные на монохроматоре МДР-23 с фотодиодом ФД-5Г при возбуждении излучением с длиной волны 1,06 мкм. Из рис. 1а видно, что спектры кристаллов существенно различа-

Т а б л и ц а 1

Характеристики кристаллов

Кристалл	Тип	Доза облучения гамма-квантами, Кл/кг	Температура облучения, К	Изготовитель
NaF:Li:OH	I	$5,2 \cdot 10^4$	300	Институт теплофизики СО АН СССР
NaF:OH	II	$2,6 \cdot 10^4$	пониженная 300	Иркутский Университет Институт общей физики АН СССР
NaF:Mg	III	$5,2 \cdot 10^4$		

ются по интенсивности полос поглощения и спектральному положению их максимумов. Номинально чистые кристаллы NaF характеризуются более слабой окрашиваемостью по сравнению с примесными кристаллами фторида натрия. В чистых кристаллах отсутствуют полосы поглощения с максимумами в области 0,8 – 0,9 мкм и свечение при возбуждении излучением 1,06 мкм. Кристаллы NaF всех трех типов, имеющие одинаковый коэффициент поглощения на длине волны 1,06 мкм, характеризуются различным составом ЦО, обуславливающих это поглощение и, соответственно, разными спектрами свечения. Так, спектр люминесценции кристаллов типа II имеет максимум 1,16 мкм и полуширину 1560 см^{-1} . Спектр кристалла типа I сдвинут относительно спектра кристалла типа II на 150 см^{-1} в длинноволновую область ($\lambda_{\text{max}} = 1,18$) при полуширине 1700 см^{-1} . Спектр свечения кристаллов типа III еще более сдвинут в ИК область и состоит по крайней мере из двух полос с максимумами 1,28 и 1,44 мкм. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рассмотренные кристаллы NaF трех типов представляют интерес как активные элементы лазеров и имеют несовпадающие области предполагаемой генерации в области 1,1 – 1,5 мкм.

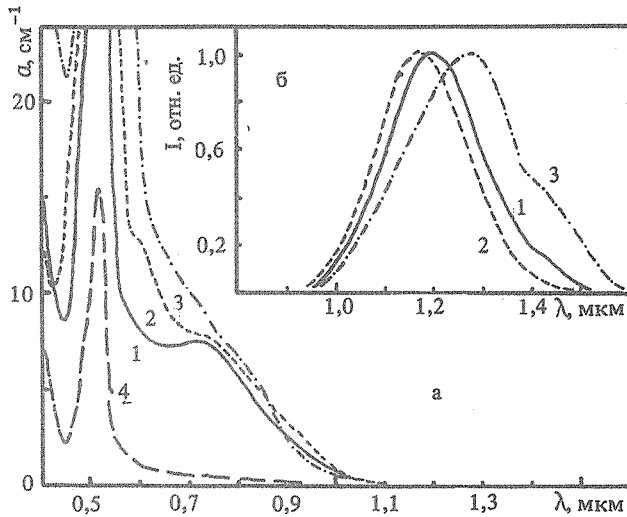


Рис. 1. Спектры поглощения (а) и люминесценции (б) γ -облученных кристаллов NaF: I(1), II(2) и III(3) типов и номинального чистого кристалла (4) при температуре 300 К.

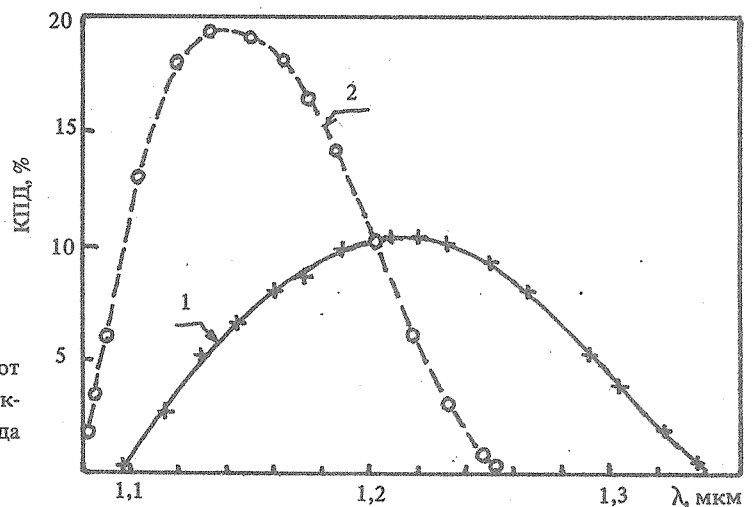


Рис. 2. Зависимости КПД лазера МАЛСАН-201 от длины волны перестраиваемого излучения: 1 – активная среда NaF (II типа), 2 – активная среда LiF:F_2^- .

Для оценки перспективности рассмотренных кристаллов как лазерно-активных сред были проведены эксперименты по их просветлению под действием несфокусированного излучения 1,06 мкм. Оказалось, что все три типа кристаллов NaF просветляются и работают как пассивные затворы неодимового лазера, а их уровень просветления при плотности энергии накачки $0,5 \text{ Дж/см}^2$ примерно одинаков и составляет $\sim 20\%$. Если все эти кристаллы по своим модуляционным характеристикам примерно одинаковы, то их фотостойчивость к излучению 1,06 мкм различна. Так, кристаллы типа I и II не разрушаются вплоть до 10^5 импульсов накачки с плотностью энергии $0,4 \text{ Дж/см}^2$ при длительности импульса накачки 15 нс и частоте повторения 12,5 Гц, а концентрация ЦО в кристаллах типа III уменьшается в 3 раза при 10-минутном воз-

действии излучения 1,06 мкм. Поэтому дальнейшие генерационные испытания проводились нами на кристаллах типа I и II.

В неселективном резонаторе с плоскими зеркалами с коэффициентами отражения 100 и 95% при продольном возбуждении излучением 1,06 мкм кристалла NaF:Li:OH длиной 2 см ($K_{1,06} = 0,35 \text{ см}^{-1}$) реализована широкополосная генерация с $\lambda_{\text{max}} = 1,25 \text{ мкм}$ и полушириной $\Delta = 1000 \text{ см}^{-1}$. КПД по поглощенной энергии составил 7,5%, дифференциальный КПД — 13%. Порог генерации по поглощенной энергии при длительности импульса накачки 15 нс составил 15 мДж/см². При помещении кристалла NaF:Li:OH внутрь резонатора ИАГ:Nd³⁺ лазера, работающего в режиме свободной генерации, получен одновременно режим пассивной модуляции добротности лазера накачки и генерации на ЦО /8/.

Перспективность использования кристаллов NaF с ЦО для получения перестраиваемого по частоте излучения в ближней ИК области спектра при накачке излучением с $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$, продемонстрированная в настоящей работе, дала основание применить эти кристаллы в качестве активной среды автоматизированного лазера на ЦО МАЛСАН-201 с целью расширения диапазона его перестраиваемой генерации.

При замене в резонаторе лазера МАЛСАН-201 элемента LiF с F_2^- ЦО на брьюстеровский элемент из кристалла NaF типа II длиной 8 см осуществлена перестраиваемая по частоте генерация в области 1,1 — 1,34 мкм при ширине линии генерации 1 см^{-1} . Максимальная энергия в импульсе генерации составила 10 мДж при энергии накачки 100 мДж, длительность импульса генерации 15 нс, частота следования импульсов 7 Гц. На рис. 2 сплошной линией 1 представлена перестроечная кривая лазера NaF с ЦО. Видно, что использование данного активного элемента позволяет существенно продвинуться в ИК область спектра (до 1,34 мкм). При этом эффективность преобразования излучения накачки достигает 10% в максимуме перестроечной кривой, что всего лишь в два раза хуже эффективности лазера на фториде лития. Перестроечная кривая лазера МАЛСАН-201 при использовании кристалла LiF:F₂⁻ приведена для сравнения на рис. 2 (штриховая линия 2). Видно, что области перестройки этих двух лазеров взаимно дополняют друг друга. Лазер МАЛСАН-201 работал на кристалле типа II при комнатной температуре (с непрерывной наработкой 3 часа за день) в течение нескольких дней без ухудшения параметров. Длительное хранение (три месяца) активного элемента при комнатной температуре приводило к заметному снижению его лазерных параметров. Замечено, что при низкотемпературном ($T < 0^\circ \text{C}$) хранении активного элемента NaF типа II между рабочими циклами генерации его сохранность увеличивается в несколько раз.

Проведенные эксперименты показали перспективность кристаллов NaF с ЦО для получения при 300 К эффективной перестраиваемой генерации в важном и плохо освоенном диапазоне оптического спектра 1,15 — 1,35 мкм. Для дальнейшей оптимизации качества активных элементов необходимо выяснение природы центров, поглощающих в области 0,8 — 1,2 мкм, и изучение влияния примесного состава кристалла и технологии его окрашивания на образование лазерно-активных центров, их фото- и термостабильность.

Авторы благодарны Ю.Л. Гусеву за предоставленные кристаллы NaF:Li:OH.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моллепауег L. F. Laser Handbook, 4, 143 (1985).
2. Гусев Ю. Л. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 44, 2018 (1980).
3. Парфианович И. А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 43, 1125 (1979).
4. Басиев Т. Т. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 46, 1600 (1982).
5. Каира Р., Lütty F. Phys. Rev., B, 32, 1264 (1985).
6. Гусев Ю. Л. и др. Препринт Ин-та теплофизики СО АН СССР 43-79, Новосибирск, 1979.
7. Алыбаков А. А. и др. Материалы IV Всес. конф. "Перестраиваемые по частоте лазеры", изд. Ин-та теплофизики СО АН СССР, Новосибирск, 1984, с. 124.
8. Вахидов Ф. А. и др. Материалы Всес. конф. "Современные проблемы физики и ее приложения", изд. ВИНТИ, М., 1987, 2, с. 20.
9. Басиев Т. Т. и др. Квантовая электроника, 14, 1726 (1987).