

КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИЯ F_2^+ -ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ $LiF(F_2)$

*Т.Г.Басиев, Ю.К.Воронько, С.Б.Миров,
В.В.Осико, А.М.Прохоров*

В работе предложен механизм накопления F_2^+ -центров окраски и получения на них генерации в кристалле LiF со стабильными нейтральными F_2 -центрами, практическая реализация которого позволила создать перестраиваемые лазеры ($\lambda_T = 0,84 - 1,1$ мкм), работающие при комнатной температуре с высоким КПД и высокой частотой повторения импульсов.

Лазеры на центрах окраски в щелочногалоидных кристаллах представляют собой новый класс перестраиваемых твердотельных оптических квантовых генераторов, спектр излучения которых перекрывает широкий диапазон длин волн ближнего инфракрасного и видимого света. Поэтому в последнее время к их разработке привлечено большое внимание исследователей (см., например, [1—5]).

Обычно в существующих лазерах генерирующие центры окраски (например F_2^+ в кристаллах LiF ; NaF [2, 5]; F_B (II) в $KCl - Na$, $RbCl - Na$ [6]) являются нестабильными при комнатной температуре и распадаются в течение нескольких часов — суток после их создания. Стабильность активных центров достигается хранением и использованием кристаллов при температурах жидкого азота, что существенно усложняет и ограничивает области применения лазеров на их основе [1—3].

Одним из путей, устранивающих эти недостатки, является стабилизация генерирующих центров путем введения в кристалл дополнительных примесей (например ионов кислорода [4]). Однако при таком методе представляется затруднительной стабилизация высоких концентраций генерирующих центров из-за появления больших количеств других агрегатных центров, эффективность образования которых велика [1, 5].

В настоящей работе предлагается новый способ получения генерации на центрах окраски, дающий возможность селективного создания высокой концентрации генерирующих центров и обеспечивающий без их предварительной стабилизации устойчивую генерацию, высокий КПД и частоту повторения импульсов при комнатной температуре.

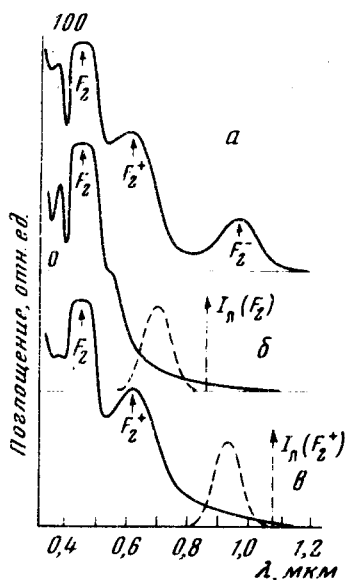


Рис. 1. Спектры поглощения чистого γ -облученного кристалла LiF: *a* — снятый через 4 часа после γ -облучения, *б* — снятый после дополнительной обработки кристалла УФ излучением (--- спектр люминесценции F_2^- -центров при их возбуждении светом $\lambda = 0,53$ мкм), *в* — снятый в активной области кристалла, подвергнутой интенсивному облучению светом с $\lambda = 0,53$ мкм (--- спектр люминесценции F_2^+ -центров при их возбуждении светом с $\lambda = 0,53$ мкм)

Рассмотрим процессы превращения центров окраски в беспримесном монокристалле LiF, окрашенном γ -облучением дозой $\sim 10^7$ р от источника ^{60}Co . На рис. 1, *a* показан спектр поглощения чистого LiF снятый через 4 часа после его облучения. В нем выделяются три характерные полосы. Как показано в [3, 7] за полосу с $\lambda_{max1} = 450$ нм. ответственны F_2^- -центры — парные анионные вакансии, захватившие по два электрона; за полосу с $\lambda_{max2} = 645$ нм — F_2^+ -центры, а с $\lambda_{max3} = 960$ нм — F_2^- -центры, которые представляют собой парные анионные вакансии с одним и тремя электронами соответственно. Из рассмотренного коллектива центров самыми стабильными являются нейтральные F_2^- -центры, концентрация которых значительно выше концентраций ионизированных F_2^+ - и F_2^- -центров. Время жизни F_2^- - и F_2^+ -центров при комнатной температуре исчисляется многими месяцами, время же полураспада F_2^+ -центров составляет всего 12 часов.

При выполнении данной работы нас в основном интересовало получение генерации на F_2^+ -центрах, которые перекрывают важную область длин волн генерации от 0,84 до 1,1 мкм.

Важными условиями получения эффективной генерации на F_2^+ -центрах являются селективное создание их высокой концентрации, а также отсутствие паразитных центров, поглощающих на частоте лазерного перехода. К числу последних относятся F_2^- -центры. Устранения F_2^- -центров окраски в кристалле легко добиться либо путем облучения кристалла ультрафиолетовым излучением, либо с помощью отжига. После такой операции мы имеем дело с кристаллом, содержащим голь-

ко стабильные нейтральные F_2^- -центры, которые не изменяют своих свойств со временем. Спектр поглощения такого кристалла приведен на рис. 1, б. Оказалось, что F_2^- -центры могут быть эффективно возбуждены на длинноволновом крыле спектра поглощения изучением второй гармоники неодимового лазера и генерируют при этом широкополосное излучение с $\lambda_{max} = 0,69$ мкм, как это показано штриховой линией на рис. 1, б.

При воздействии излучения высокой плотностью мощности на кристалл в нем, кроме возбуждения F_2^- -центров, начинают развиваться нелинейные процессы их фотоионизации. Квант излучения 0,532 мкм переводит один электрон с возбужденного уровня нейтрального F_2^- -центра в зону проводимости, создавая ионизованный F_2^{+} -центр. Механизм подобного процесса можно представить в виде двухступенчатой фотоионизации F_2^- -центров $F_2^- + h\nu \rightarrow F_2^{* -} + h\nu \rightarrow F_2^+ + e^-$.

Рис. 1, в, на котором приведен спектр поглощения, снятый в активной области кристалла (подвергнутой интенсивному облучению светом с $\lambda = 0,53$ мкм) демонстрирует подобный процесс. Видно, что в активной области резко растет концентрация F_2^+ -центров (появилась полоса с $\lambda_{max} = 0,645$ мкм) и падает концентрация нейтральных F_2^- -центров. Визуально это выражается в изменении окраски активной области с красной на зеленую.

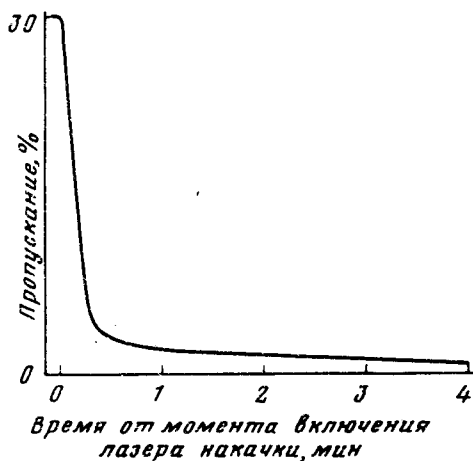


Рис. 2. Кинетика пропускания активной областью кристалла излучения $\lambda = 0,632$ мкм с момента включения лазера накачки

Кинетику процесса создания F_2^+ -центров можно проследить, измеряя пропускание активной области кристалла на частоте излучения гелий-неонового лазера $\lambda = 0,6328$ мкм, которая близка к максимуму полосы поглощения F_2^- -центров. Кривая зависимости пропускания от времени воздействия накачки на кристалл при импульсно-периодическом режиме работы лазера с частотой $f = 12,5$ Гц показана на рис. 2. Из рисунка видно, что в течении нескольких десятков секунд (время зависит от плотности мощности накачки) поглощение на $\lambda = 0,63$ мкм увеличивается в четыре — пять раз и доходит до $1,5 \text{ см}^{-1}$. Полученной концентрации ионизованных центров оказывается достаточно, чтобы

большая часть излучения накачки теперь поглощалась F_2^+ -центрами, которые в свою очередь эффективно преобразуют ее в генерируемое излучение. Спектр люминесценции F_2^+ -центра, отражающий форму кривой усиления приведен на рис. 1, в штриховой линией.

Использование в качестве активной среды кристаллов LiF с остаточными или специально введенными примесями полученных в Иркутском государственном университете¹⁾ показало, что и в этом случае лазер с накачкой излучением с $\lambda = 0,53$ мкм работает по вышеописанному механизму [8]. Стабилизированных кислородом F_2^+ -центров оказывается недостаточно для получения генерации с накачкой $\lambda = 0,53$ мкм, так как свыше 95% мощности излучения накачки первоначально поглощается F_2 -центрами. Инфракрасная генерация наблюдается лишь после селективной фотоионизации F_2 -центров до F_2^+ , т. е. после создания более высокой, чем образованная при стабилизации концентрации F_2^+ -центров. На это указывает сильное изменение окраски в активной области и задержка в возникновении генерации на $10^2 - 10^3$ импульсов после первого включения импульсно-периодической накачки. Таким образом выбор длины волны излучения накачки в области перекрытия спектров поглощения нейтральных F_2 - и ионизованных F_2^+ -центров позволяет непосредственно в лазерном устройстве создавать и поддерживать нужную концентрацию активных F_2^+ -центров и осуществлять в них инверсию населенности.

Применение вышеописанного способа позволило впервые получить при комнатной температуре импульсно-периодический режим генерации с высокой частотой повторения импульсов при узкой диаграмме направленности и высоком КПД генерации. Так, в плоскопараллельном резонаторе Фабри — Перо с 10%-ым выходным зеркалом при длительности импульса накачки $t_u = 1,5 \cdot 10^{-8}$ сек пиковой мощности $P_u = 3,4 \cdot 10^5$ Вт, для частоты 50 Гц была получена широкополосная генерация F_2^+ -центров с $\lambda_{max} = 0,93$ мкм, мощностью в импульсе $2,4 \cdot 10^4$ Вт, расходимостью 10^{-3} рад, квантовой эффективностью преобразования излучения накачки в инфракрасную генерацию 42%. О фотоустойчивости центров окраски, полученных в результате γ -облучения, говорит тот факт, что лазер стабильно работал в режиме $f = 12,5$ Гц, более трех часов ($\sim 2 \cdot 10^5$ имп) без заметного уменьшения мощности генерации. Для получения перестраиваемой генерации нами применялись схемы дисперсионных резонаторов часто используемых в лазерах на растворах органических красителей [9]. Кристалл помещался в резонатор с дифракционной решеткой или тремя призмами и возбуждался по почти продольной схеме. Область генерируемых частот составила 0,84 — 1,1 мкм при ширине линии генерации около 2 Å. Применение схемы удвоения частоты перестраиваемого лазера при помощи нелинейного кристалла $LiIO_3$ позволило получить перестраиваемую генерацию второй гармоники в диапазоне 0,42 — 0,55 мкм.

Таким образом, созданный нами кристаллический лазер перекрывает перестраиваемым излучением такой диапазон длин, где лазеры на красителях наименее эффективны и надежны. Компактность и простота такого лазера, значительно более широкая область генерируемых

¹⁾ Кристаллы любезно предоставлены В.М. Хулугуровым.

частот, высокие энергетические характеристики и узкая диаграмма направленности излучения в совокупности с удобным источником накачки, имеющим высокую частоту повторения импульсов, позволит ему найти широкое применение в научных исследованиях и технике.

Физический институт им. П.Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 октября 1979 г.

Литература

- [1] L.F.Mollenauer, D.H.Olson. Appl. Phys., **46**, 3109, 1975.
 - [2] L.F.Mollenauer. Opt. Lett., **1**, 164, 1977.
 - [3] Yu.L.Gusev, S.I.Marennikov, V.P.Chebotaev. Appl. Phys., **14**, 121, 1977.
 - [4] В.М.Хулугуров, Б.Д.Лобанов. Письма в ЖТФ, **19**, 1175, 1978.
 - [5] В.М.Хулугуров. Канд. дисс. Ирк. гос. ун-т, Иркутск 1978.
 - [6] G.Litfin, R.Beigang, H.Welling. Appl. Phys. Lett., **31**, 381, 1977.
 - [7] J.Nahum. Phys. Rev., **158**, 814, 1967.
 - [8] Т.Т.Басиев, С.Б.Миров, А.М.Прохоров. ДАН СССР, **246**, 72, 1979.
 - [9] Т.Т.Басиев, Ю.К.Воронько, А.Я.Карасик, В.В.Осико, И.А.Щербаков. ЖЭТФ, **75**, 66, 1978.
-