

## Лазерная генерация наноструктурированной фторидной керамики LiF с $F_2^-$ -центрами окраски при диодной накачке

Т.Т.Басиев, М.Е.Дорошенко, В.А.Конюшкин, В.В.Осико, Л.И.Иванов, С.В.Симаков

*Исследованы спектральные и генерационные свойства новой наноструктурированной лазерной керамики на основе кристаллов LiF с агрегатными  $F_2^-$ -центрами окраски и проведено их сравнение с характеристиками монокристаллических образцов. В лазерной керамике LiF:  $F_2^-$  при накачке лазерным диодом получена генерация с дифференциальным КПД до 26 %.*

**Ключевые слова:** наноструктурированная лазерная керамика, центры окраски, лазерная генерация.

Для создания эффективных лазерных генераторов импульсов пико-фемтосекундной длительности, а также лазеров, перестраиваемых в широком диапазоне длин волн, необходим поиск и исследование материалов с большой шириной линии усиления. Одними из наиболее перспективных для данных задач лазерных материалов являются кристаллы LiF с агрегатными  $F_2^-$ -центрами окраски. Широкая полоса усиления, достигающая 300 нм (1–1.3 мкм), большое сечение люминесценции ( $\sim 10^{-17}$  см<sup>2</sup>), широкая полоса поглощения, пригодная для накачки лазерами одномикронного диапазона, высокая теплопроводность делают эти кристаллы практически идеальными для использования в перестраиваемых лазерах и лазерах с синхронизацией мод [1, 2]. Создание лазерных диодов с длиной волны генерации 960–980 нм позволяет также разрабатывать компактные эффективные лазеры на кристаллах LiF:  $F_2^-$  с непосредственной накачкой лазерными диодами.

Проведенные недавно исследования [3] показали, что несмотря на малое время жизни  $F_2^-$ -центров окраски ( $\sim 50$  нс), на кристаллах LiF:  $F_2^-$  можно получить генерацию при накачке лазерными диодами с длительностью импульса, на много порядков превышающей время жизни возбужденного уровня (вплоть до непрерывной генерации) при температуре, близкой к комнатной. К недостаткам этих кристаллов можно отнести лишь невысокие твердость и прочность, что может препятствовать их использованию в лазерах с высокой средней мощностью излучения.

Одним из эффективных способов преодоления данного недостатка является создание лазерной керамики на базе кристаллов LiF с  $F_2^-$ -центрами окраски. Из работ по созданию оксидной оптической керамики на основе алюмоиттриевого граната и оксида иттрия известно, что по

своим спектрально-люминесцентным характеристикам эти материалы не уступают аналогичным монокристаллам [4, 5], обладая при этом большей однородностью и механической прочностью.

В [6] представлены результаты работ по созданию оптической керамики на базе кристаллов LiF. Исходным материалом служили монокристаллы фтористого лития, выращенные на воздухе методом Киропулоса. Для получения поликристаллических образцов использовалась методика горячего формования, при которой образцы кубической формы осаживались под давлением при температуре около 600 °С. Для определения степени поликристалличности полученных после осаживания образцов было проведено рентгенографическое исследование, показавшее, что при деформациях более 80% дифракционные картины порошка и деформированного образца качественно не различаются. Для получения лазерных  $F_2^-$ -центров окраски образцы оптической керамики облучались электронами с энергией 21 МэВ на ускорителе «Микротрон-СТ» при комнатной температуре.

Измеренные спектры и времена затухания люминесценции  $F_2^-$ -центров окраски в керамических образцах при возбуждении наносекундным перестраиваемым LiF:  $F_2^+$ -лазером с длиной волны генерации около 920 нм не отличались от таковых для монокристаллического образца толщиной 7 мм, измеренных в аналогичных условиях. Лазерная генерация монокристаллов и керамики LiF:  $F_2^-$  исследовалась при накачке лазерным диодом (IPG) с волоконным (диаметр волокна 100 мкм) выводом излучения с длиной волны генерации 967 нм и мощностью 12 Вт. Лазерный диод работал в квазинепрерывном режиме генерации с длительностью импульсов 1 мс и частотой следования 5 Гц. Его излучение фокусировалось в образец одиночной линзой с фокусным расстоянием 5 мм. Резонатор LiF-лазера был образован дихроичным плоским зеркалом с пропусканием 95 % на длине волны накачки и с отражением 100 % на длине волны генерации (около 1.117 мкм) и выходным сферическим зеркалом с коэффициентом отражения 95 % и радиусом кривизны 100 мм, расположенным на расстоянии 40 мм от плоского зеркала. Средние мощности выходного излучения и накачки измерялись измерителем мощности ЕРМ-100,

Т.Т.Басиев, М.Е.Дорошенко, В.А.Конюшкин, В.В.Осико, Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: dorosh@lst.gpi.ru, vasil@lst.gpi.ru  
Л.И.Иванов, С.В.Симаков, Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 49

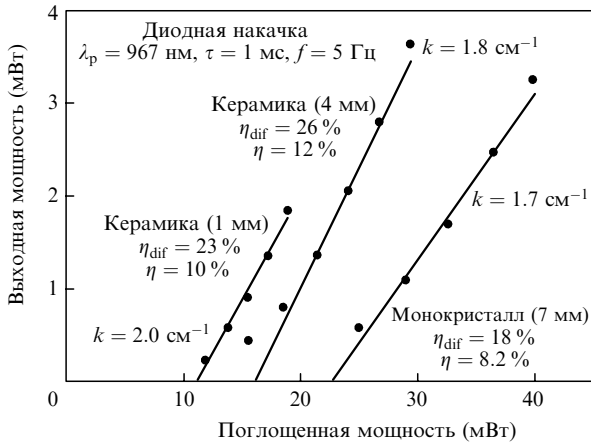


Рис.1. Зависимости средней выходной мощности генерации от средней поглощенной мощности диодной накачки для керамических и монокристаллического образцов  $\text{LiF:F}_2^-$  измеренные в одних и тех же условиях.

а длины волн генерации и накачки – измерителем длин волн LRL005.

Зависимости средней выходной мощности генерации керамических и монокристаллического образцов от средней поглощенной мощности накачки приведены на рис.1. Видно, что керамические образцы имеют более низкий порог генерации. Керамический образец толщиной 4 мм с коэффициентом поглощения  $k = 1.8 \text{ см}^{-1}$  имел наибольший дифференциальный КПД генерации ( $\eta_{\text{dif}} = 26\%$ ) и максимальный КПД по поглощенной мощности накачки ( $\eta = 12\%$ ), тогда как дифференциальный КПД монокристаллического образца толщиной 7 мм с коэффициентом поглощения  $1.7 \text{ см}^{-1}$  составил лишь  $18\%$  при полном КПД  $8.2\%$ . Измеренный спектр генерации лазера на основе керамического образца показан на рис.2 вместе со спектрами поглощения и люминесценции. Максимум длины волны генерации находился на  $1.117 \text{ мкм}$  при ширине спектра генерации около  $5 \text{ нм}$ .

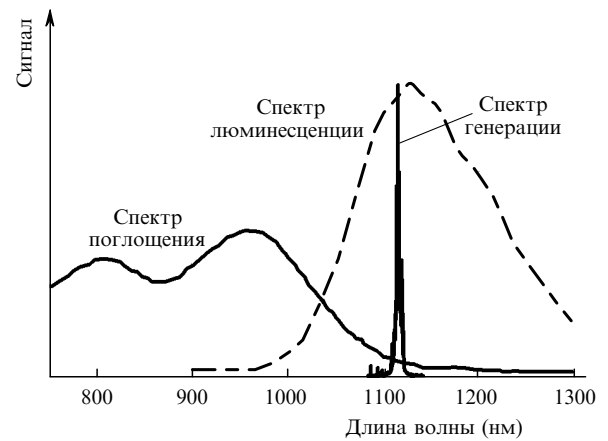


Рис.2. Спектры поглощения и люминесценции, а также спектр генерации лазера на основе  $\text{LiF:F}_2^-$ -керамики.

Таким образом, в данной работе впервые была получена лазерная генерация на керамике LiF с  $\text{F}_2^-$ -центрами окраски и проведено сравнение генерационных свойств монокристаллического и керамического образцов  $\text{LiF:F}_2^-$ , демонстрирующее высокую перспективность последнего.

1. Basiev T.T., Mirov S.B., in *Laser Science and Technology* (Chur, Switzerland: Gordon Breach Science Publ., Harwood Academic Publ., 1994, Vol. 16, p. 1).
2. Basiev T.T., Zverev P.G., Mirov S.B., in *Handbook of Laser Technology and Applications*. C.E. Webb and J.D.C. Jones (Eds.) (USA, Boca Raton: Taylor & Francis Group, CRC Press, 2003, Ch. B1.8, p. 499).
3. Basiev T.T., Vassiliev S.V., Konyushkin V.A., Gapontsev V.P. *Opt. Lett.*, **31**, 2154 (2006).
4. Kaminskii A.A., Eichler H.J., Ueda K., et al. *Phys. Stat. Sol. (a)*, **181**, R19 (2000).
5. Каминский А.А., Акчурин М.Ш., Альшиц В.И. и др. *Кристаллография*, **48**, 562 (2003).
6. Басиев Т.Т., Воронов В.В., Конюшкин В.А., Кузнецов С.В., Лаврищев С.В., Осико В.В., Федоров П.П., Анкудинов А.Б., Альмов М.И. *Докл. РАН*, в печати.