

Г.А. Скрипко, С.Г. Бартошевич, В.В. Зуев, А.Н. Мальцев

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ НА КРИСТАЛЛАХ $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ПУЧКАМИ ЭЛЕКТРОНОВ

Обнаружена лазерная генерация в кристалле $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с накачкой электронным пучком, имеющим плотность тока на поверхности кристалла от 10 до $500 \text{ A}/\text{cm}^2$ при энергии электронов от 190 до 600 кэВ. Лазерная генерация осуществлена в области длин волн $0,76\dots 0,85 \text{ мкм}$, определявшейся диэлектрическими зеркалами резонатора лазера. Интенсивная свертлюминесценция кристалла наблюдается в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра в основном в области $0,6\dots 1,02 \text{ мкм}$. Анализ полученных результатов позволяет прогнозировать создание эффективных и надежных лазерных излучателей, работающих в широком спектральном диапазоне, на основе кристаллов $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с накачкой высокоэнергетическими элементами. Такие лазеры представляют интерес для решения ряда задач оптики атмосферы.

Одним из перспективных типов лазеров для использования в задачах оптики атмосферы является перестраиваемый в широком спектральном диапазоне лазер на активированном кристалле $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ [1]. До сих пор генерационные характеристики этого лазера исследовались при оптическом возбуждении [2–4]. Использование для возбуждения кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ других лазеров или скоростных импульсных ламп не позволяет пока получить высокий сквозной КПД, усложняет конструкцию излучателя и уменьшает его надежность.

В настоящей статье представлены результаты исследований возможности создания перестраиваемого лазера на кристалле $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с возбуждением пучками быстрых электронов. Целесообразность таких исследований определяется высокой радиационной стойкостью матрицы Al_2O_3 [5], которая еще более возрастает при активации ее ионами Ti^{3+} , а также высоким энергетическим выходом катодolumинесценции $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$.

Исследования проводились на двух экспериментальных установках. В первой установке использовалась электронная пушка со следующими характеристиками: энергия электронов в пучке 190 кэВ, плотность тока на образце — $10 \text{ A}/\text{cm}^2$, длительность токового импульса 50 нс, частота повторения импульсов до 5-ти Гц. Активный элемент длиной 25 мм выполнен из кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с концентрацией активатора 0,03 вес.%, выращенного модифицированным методом Киропулоса (автор В.Н. Матросов). Резонатор образован напыленными на торцы активного элемента зеркалами с коэффициентом отражения 98% в спектральной области 700–900 нм.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а. Активный элемент плоской боковой поверхностью располагался вплотную к окну электронной пушки, выполненному из бериллиевой фольги. Токовые характеристики пучка измерялись с помощью цилиндра Фарадея, помещенного на место активного элемента. Для регистрации спектральных характеристик использовался спектрограф СТЭ-1, на выходе которого располагалась либо фотопленка, либо фотоумножитель, подключенный к осциллографу.

При возбуждении электронным пучком кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ наблюдалась широкополосная люминесценция в видимой и ближайшей ИК-области, представляющая суперпозицию нескольких широких полос. Наиболее интенсивная из них с максимумом на $\lambda_m = 800 \text{ нм}$ имеет время затухания — 3,5 мкс и определенно связана с ионами Ti^{3+} . При плотности тока возбуждающего пучка $\sim 10 \text{ A}/\text{cm}^2$ наблюдалась генерация, временной ход которой представлен на рис. 1, б (кривая 2). Генерация возникает с задержкой относительно импульса возбуждения примерно на 100–150 нс, длительность ее составляет около 80 нс. Импульсы генерации устойчиво воспроизводятся до частот 5 Гц.

Типичный спектр генерации представлен на рис. 2. Его структура объясняется интерференционными эффектами на зеркалах и пространственных резонансных структурах [6], которые наблюдались в используемом кристалле. Пучок генерации в поперечном сечении имел форму ленты с углом расходимости $\sim 3 \text{ мрад}$ в направлении возбуждающего пучка электронов и до 5° в перпендикулярном направлении. Угловые характеристики удовлетворительно объясняются геометрией эксперимента. Приведенные временные, спектральные и пространственные характеристики излучения подтверждают наличие лазерного эффекта в кристалле $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ при возбуждении электронным пучком.

На второй установке проведено исследование возможности получения генерации во внешнем резонаторе. В этом случае использовалась электронная пушка с плотностью тока в пучке $150\dots 500 \text{ A}/\text{cm}^2$, энергией электронов до 600 кэВ и длительностью токового импульса на полувысоте 25 нс (рис. 1, б, кривая 3). Схема эксперимента была подобна вышеописанной. Резонатор состоял из 2-х зеркал с радиусами кривизны 300 и 500 мм, с коэффициентами отражения 96 и 97% в области предполагаемой генерации, расположенных на расстоянии 330 мм друг от друга. Активный элемент размерами $6\times 6\times 10 \text{ мм}^3$ был вы-

полнен из кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с концентрацией активатора 0,09 вес.%, торцы полировались с лазерной точностью. В качестве спектрального прибора использовался монохроматор МДР-12.

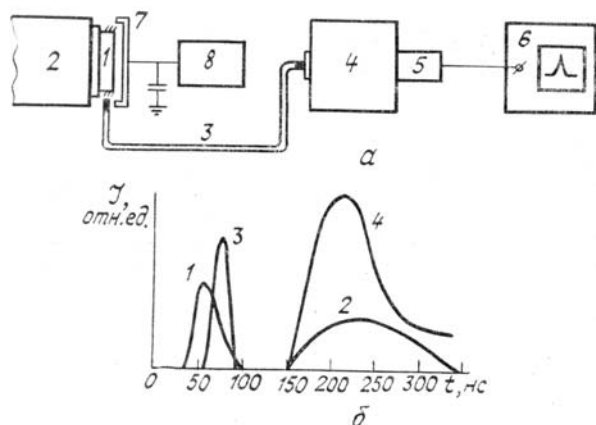


Рис. 1. а) — схема экспериментальной установки: 1 — активный элемент; 2 — электронная пушка; 3 — световод; 4 — спектральный прибор; 5 — ФЭУ; 6 — осциллограф; 7 — цилиндр Фарадея; 8 — вольтметр; б) осциллограммы импульсов тока электронного пучка с энергией 190 (1) и 600 кэВ (3) и интенсивности лазерного излучения (кривые 2, 4 соответственно) на длине волны 800 нм

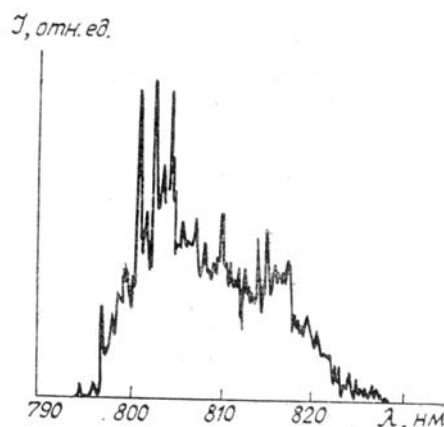


Рис. 2. Спектр генерации лазера на кристалле $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ при возбуждении пучков электронов с энергией 190 кэВ

При отсутствии зеркал или расстроенном резонаторе в спектральной области 0,6–1,02 мкм наблюдалась характерная суперлюминесценция (по форме напоминающая кривую 4). При настроенном резонаторе амплитуда импульса заметно возрастала при одновременном синхронном сокращении длительности переднего фронта (до двух раз), что свидетельствует о явном влиянии резонатора. В наших экспериментах по электронному возбуждению не замечено ухудшения оптического качества активных элементов и ухудшения генерационных свойств кристаллов $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ вплоть до флюенса 10^{17} .

В кристаллах $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ при воздействии мощного электронного пучка зарегистрирована генерация гиперзвука, приводящего иногда к разрушению кристалла.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность получения вынужденного излучения в красной и ближайшей ИК-областях спектра на кристаллах $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ при электронном возбуждении. Оценка энергетической эффективности лазеров на $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ с электронным возбуждением свидетельствует о возможности создания излучателей с полным кпд по энергии, запасенной в электронном пучке до 4–8%. Такие излучатели, отличающиеся простотой и надежностью, могут представлять серьезный интерес для лазерного зондирования газовых и аэрозольных составляющих атмосферы.

В заключение авторы выражают благодарность М.В. Белоконову, И.В. Михнюку и Е.В. Шарабарину, оказавшим большую помощь в подготовке и проведении экспериментов.

1. Скрипко Г. А. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 7. С. 675–698.
2. Tunable Solid-State Lasers II/Ed. by A.V. Budgor, L. Esterowitz, L.G. De Shazer. Springer-Verlag. 1986. V. 52. 367 p.
3. Корунд с титаном — высокоэффективный материал для перестраиваемых твердотельных лазеров /Е.К. Белоногова, Ю.Ж. Исаенко, С.В. Шавкунов. Обзоры по электронной технике. Сер. II. Лазерная техника и оптоэлектроника. М.: ЦНИИ «Электроника», 1988. Вып. 1 (1344). 40 с.
4. Бартошевич С.Г., Бурлаков В.Д., Зуев В.В. и др. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 12. С. 87–93.
5. Белоконов М.В., Круглик Г.С., Скрипко Г.А. // Журнал прикладной спектроскопии. 1983. Т. 38. Вып. 5. С. 752–755.
6. Круглик Г.С., Скрипко Г.А., Шкадаревич А.П. Перестраиваемые лазеры на активированных кристаллах. Минск: БПИ, 1984. 33 с.

Межотраслевой институт повышения квалификации при Белорусском политехническом институте, Минск
Институт оптики атмосферы СО АН СССР, Томск

Поступила в редакцию
29 апреля 1989 г.

G. A. Skripko, S. G. Bartoshevich, V. V. Zuyev, A. N. Mal'tzev. **Laser Performance of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ Crystal Excited with Electron Beams.**

Laser performance of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ crystal excited by electron beam with the current density at the crystal surface from 10 to 500 A/cm² at electron energy from 190 to 600 keV has been realized. Lasing has been achieved in the range from

0,76 to 0,85 μm , determined by the dielectric mirrors of the laser cavity. Intense crystal superluminescence is observed in the visible and near IR spectral region, mainly from 0,6 to 1,02 μm . The analysis of the obtained results permits one to predict the construction of efficient and reliable lasers operating in a wide spectral range, based on $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ crystals excited with high-energy electrons. Such lasers can be used for solving a number of atmospheric optics problems.