

Nd³⁺:Ca₁₀Li(VO₄)₇ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Демеш М.П., Гусакова Н.В., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из важных проблем лазерной физики является генерация лазерного излучения в виде импульсов предельно малой длительности. Решение этой проблемы открывает пути создания лазеров, обладающих высокой интенсивностью излучения. Другим обстоятельством, мотивирующим развитие лазеров ультракоротких импульсов, является необходимость измерения предельно коротких интервалов времени, что позволяет исследовать различные быстропротекающие процессы и создавать лазерные стандарты частоты. Также перспективно применение таких лазеров в медицине (оптическая когерентная томография) и прецизионной обработке металлов.

Кристаллы твердых растворов на основе ванадата кальция Ca₉Ln(VO₄)₇ (Ln = La³⁺, Y³⁺, Gd³⁺, Lu³⁺, Bi³⁺) и Ca₁₀A(VO₄)₇ (A = Li, K) [1] с ионами РЗЭ привлекательны как активные среды для получения импульсов ультракороткой длительности, что связано с уширением их спектральных линий и, соответственно, полос усиления. Первоначально интерес к данным кристаллам был обусловлен их нелинейно-оптическими свойствами. Однако, исследование спектроскопических свойств данных кристаллов показало их перспективность как активных сред твердотельных лазеров [1-3].

Кристалл Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ относится к тригональной сингонии, пространственная группа симметрии – R3c. В оптическом отношении эти кристаллы являются одноосными, причем оптическая ось совпадает с осью симметрии третьего порядка (ось c). Концентрация ионов неодима составляет $9,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

В докладе представлены основные спектроскопические характеристики новой активной среды – кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ и первые результаты экспериментального получения лазерной генерации на этом материале.

С точки зрения получения лазерной генерации наибольший интерес представляет переход $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ в области 1 мкм. На рис. 1 представлены спектры сечений поглощения σ_{abs} и стимулированного испускания σ_{em} кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ для σ – поляризации, так как они имеют более высокие значения чем для π поляризации. Значение сечения поглощения в максимуме полосы составляет $8,2 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, а стимулированного испускания – $6,4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$.

Измеренное время жизни верхнего лазерного уровня $^4F_{3/2}$ равняется 140 мкс. Близкое к этому значение имеет и радиационное время жизни,

рассчитанное по методу Джадда-Офельта [1]. Это свидетельствует о том, что квантовый выход люминесценции близок к единице.

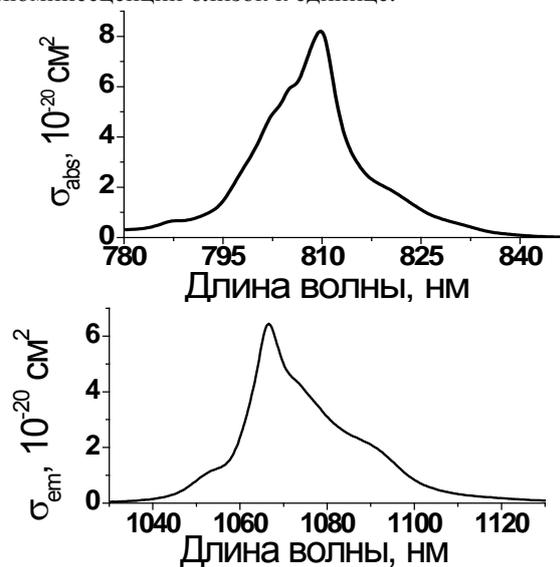


Рис. 1 Спектры сечений поглощения и стимулированного испускания кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ (σ – поляризация)

Для проведения эксперимента была собрана экспериментальная установка лазера с полусферическим резонатором, расчет которого проводился методом ABCD матриц. Мощность усиленного спонтанного излучения на длине волны ≈ 1 мкм, регистрировалась при помощи фотоприемника G5851 (HAMAMATSU) с усилителем за выходным зеркалом резонатора. Выходная мощность регистрировалась измерителем мощности 3A-P (Orphir). Для накачки использовался 25 Вт лазерный диод FocusLigth с длиной волны 802 нм, излучение которого фокусировалось в перетяжку диаметром 450 мкм. В схеме лазера входное зеркало с радиусом кривизны 1000 мм имело диэлектрическое покрытие, обеспечивающее высокое пропускание для излучения на длине волны накачки (≈ 802 нм) и высокое отражение ($> 99,9\%$) на длине волны генерации 1065 нм. В качестве выходных использовались плоскопараллельные зеркала с коэффициентами пропускания 1,5% и 5% на длине волны генерации. Активный элемент представлял собой плоскопараллельную пластину толщиной 0,7 мм и был закреплен на медном теплоотводе. Температура активного элемента поддерживалась на уровне 15°C с помощью элемента Пельтье. На рабочие поверхности элемента были нанесены

просветляющие покрытия как на длине волны накачки, так и на длине волны генерации. В ходе экспериментов был реализован режим свободной генерации. При этом длительность импульса накачки равнялась 2 мс, а частота следования импульсов – 1 Гц. Наибольшая выходная мощность лазера 0,75 Вт была получена при пропускании выходного зеркала 1,5%. Экспериментально определенные выходные характеристики лазера представлены на рисунке 2. Дифференциальная эффективность составила при этом 40,7%.

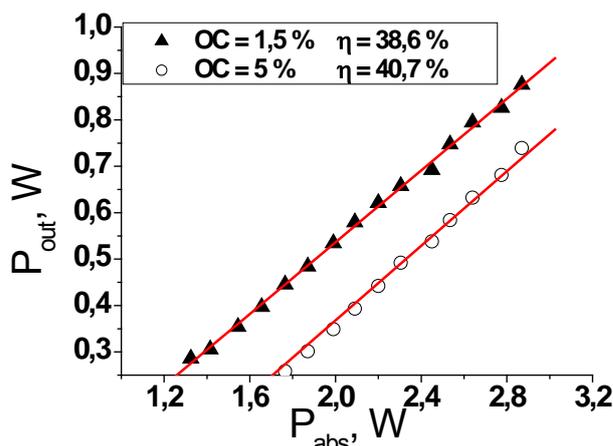


Рис. 2. Выходные характеристики лазера на кристалле Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇

Спектр лазерного излучения представлен на рисунке 3 для $T_{oc} = 5\%$. Длина волны, соответствующая максимуму спектра генерации, составила 1065,2 нм.

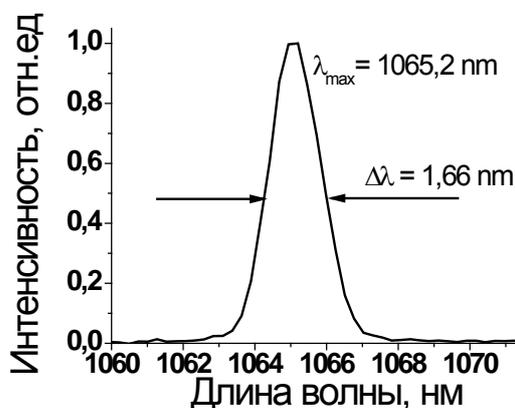


Рис. 3. Спектр генерации лазера в режиме свободной генерации

На рисунке 4 представлено распределение энергии в пятне излучения. Качество пучка составляло $M^2 \approx 1,1$.

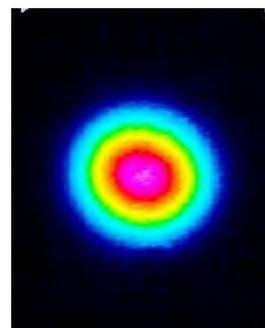


Рис. 4. Пространственный профиль излучения на длине волны 1065 нм

При переходе к непрерывному режиму работы лазера уменьшалась эффективность генерации с последующим ее срывом. Такое поведение мы связываем с влиянием термолинзы на устойчивость резонатора. При увеличении мощности накачки происходило разрушение активного элемента. Это можно объяснить остаточными послеростовыми напряжениями в кристалле. В дальнейшем планируется проведение экспериментов после высокотемпературного отжига выращенных кристаллов для снятия механических напряжений.

Таким образом, исследованы основные лазерные спектроскопические характеристики нового лазерного материала Ca₁₀Li(VO₄)₇:Nd и впервые на этом кристалле был реализован режим генерации. Определены направления дальнейших исследований лазерных характеристик данного кристалла.

1. Loiko P.A., Yasukevich A.S., Gulevich A.E. et al. Growth, spectroscopic and thermal properties of Nd-doped disordered Ca₉(La/Y)(VO₄)₇ and Ca₁₀(Li/K)(VO₄)₇ crystals // *Journal of Luminescence*, 2013, vol. 137, pp. 252-258.
2. M.B. Kosmyna, B.P. Nazarenko, et al. Ca₁₀Li(VO₄)₇:Nd³⁺, a promising laser material: growth, structure and spectral characteristics of a czochralski-grown single crystal // *Journal of Crystal Growth*, 2016, vol. 445 pp. 101-107.
3. M.B. Kosmyna, B.P. Nazarenko, et al. Growth and spectroscopy of new laser crystals Ca₁₀Yb_{0,3}K_{0,1}(VO₄)₇ // *Functional Materials*, 2012, vol. 19, pp. 552-554.