

ЭФФЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕР НА ПОЛИКРИСТАЛЛЕ Cr:ZnSe, ИЗЛУЧАЮЩИЙ В СРЕДНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

А. Н. Чабушкин, А. А. Манешкин, Е. В. Салтыков, К. В. Воронцов, В. И. Лазаренко, Н. Г. Захаров

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Лазеры, на основе соединения ZnSe, легированных ионами Cr^{2+} , способны генерировать лазерное излучение в спектральном диапазоне 2–3 мкм. В данной спектральной области находятся пики поглощения целого ряда молекулярных веществ (H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , NH_3 и др.). В связи с этим лазеры, на основе активных элементов из Cr:ZnSe, могут найти применение в лидарах для удаленного мониторинга атмосферы; в медицине (диагностика, хирургия, стоматология и косметология); в технологических процессах обработки полимеров, стекол и композитов; в космической связи. Кроме этого, лазеры, генерирующие в области 3 мкм, используются для накачки ионов Fe^{2+} в соединениях типа A_2B_6 , имеющих пик поглощения в этой области [1–3].

В настоящее время изучены генерационные характеристики ионов Cr^{2+} в целом ряде соединений типа A_2B_6 , среди которых наиболее перспективными считаются следующие: ZnS, ZnSe и CdSe [4]. Наибольший интерес для легирования ионами Cr^{2+} представляет матрица ZnSe, вследствие оптимального сочетания механических и термооптических характеристик. Низкая теплопроводность соединения Cr:ZnSe ограничивает получение большой мощности генерации на данном материале. Однако, в работе [5] была получена рекордная к настоящему времени мощность генерации в непрерывном режиме за счет быстрого вращения активного элемента из Cr:ZnSe. Мощность Cr:ZnSe-лазера составила $P = 140$ Вт на длине волны $\lambda = 2500$ нм. Данный метод борьбы с термолинзой был использован нами в эксперименте для случая импульсно-периодического режима работы лазера Cr:ZnSe. В связи с этим, целью настоящей работы являлась отработка методики получения лазерной генерации на вращающемся активном элементе из Cr:ZnSe.

Экспериментальная установка

Ионы Cr^{2+} в соединении ZnSe характеризуются электронно-колебательными спектрами поглощения и люминесценции [6]. Максимум линии поглощения ионов Cr^{2+} в данной матрице составляет $\lambda_{\text{abs}} = 1,77$ мкм при ширине контура поглощения $\Delta\lambda_{\text{abs}} = 0,35$ мкм. Данный факт обуславливает большой выбор источников накачки активных элементов из Cr:ZnSe, в

качестве которых могут выступать полупроводниковые лазеры, эрбиевые, туллиеые кристаллические и волоконные лазеры. Накачка туллиевыми лазерами уменьшает тепловую нагрузку на активный элемент вследствие малого квантового дефекта. В экспериментах мы использовали накачку импульсно-периодическим лазером на кристаллах Tm:YLF.

Поликристаллические образцы Cr:ZnSe были получены CVD-методом с после ростовым легированием в процессе диффузии при высокотемпературном изостатическом прессовании. Легирование ионами Cr^{2+} производилось с двух сторон диска из поликристалла ZnSe. Поверхности диска Cr:ZnSe полировались, а затем просветлялись на длины волн накачки и генерации (1,9–2,7 мкм) (рис. 1). Диаметр диска равнялся $D = 80$ мм, толщина $h = 7$ мм.

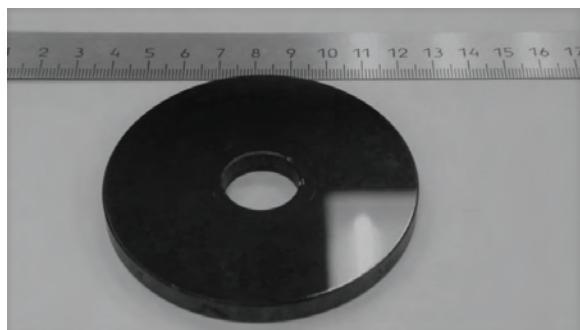


Рис. 1. Внешний вид активного элемента Cr:ZnSe

Для накачки активного элемента Cr:ZnSe использовался импульсно-периодический лазер на кристаллах Tm:YLF. Оптическая схема данного лазера представлена на рис. 2.

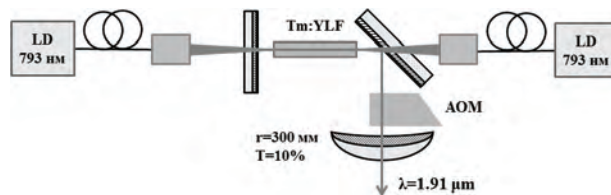


Рис. 2. Оптическая схема лазера Tm:YLF

Как видно из рис. 2, накачка активного элемента из кристалла Tm:YLF осуществлялась с двух сторон линейками лазерных диодов с длинами волн излучения 793 нм. Излучение фокусировалось в активный элемент двухлинзовыми объективами в пятно диаметром $d = 1$ мм. Резонатор лазера имел Г-образную

схему. При использовании такого типа резонатора получалась генерация σ -поляризованного излучения на длине волны $\lambda = 1,91 \mu\text{m}$. Выходное сферическое зеркало с радиусом кривизны рабочей поверхности $r = 300 \text{ мм}$ имело пропускание $T = 10 \%$ на длине волны генерации. Для реализации импульсно-периодического режима работы между дихроичным зеркалом и выходным сферическим зеркалом размещался акустооптический модулятор (АОМ). Длительность импульса лазерного излучения при максимальной выходной мощности генерации лазера Tm:YLF составила $\tau = 300 \text{ нс}$ при частоте $\nu = 10 \text{ кГц}$.

Излучение лазера Tm:YLF фокусировалось в активный элемент из поликристалла Cr:ZnSe с помощью линзы с фокусным расстоянием $f = 200 \text{ мм}$. Диаметр пятна излучения накачки на активном элементе Cr:ZnSe составил $d = 1,2 \text{ мм}$. Оптическая схема лазера Cr:ZnSe представлена на рис. 3. Как видно из рис. 3, резонатор лазера Cr:ZnSe был образован 3 зеркалами. Входное дихроичное зеркало размещалось под углом 45° к оптической оси и имело пропускание $T \approx 85\%$ на длине волны накачки и отражение $R \geq 97\%$ в спектральном диапазоне $2,2\text{--}2,8 \mu\text{m}$. Заднее плоское зеркало имело высокий коэффициент отражения на длине волны накачки и генерации, в результате чего обеспечивался двойной проход излучения накачки через активный элемент. Длина резонатора составила $L = 45 \text{ мм}$. Активный элемент вращался с частотой $\nu = 2400 \text{ об/мин}$.

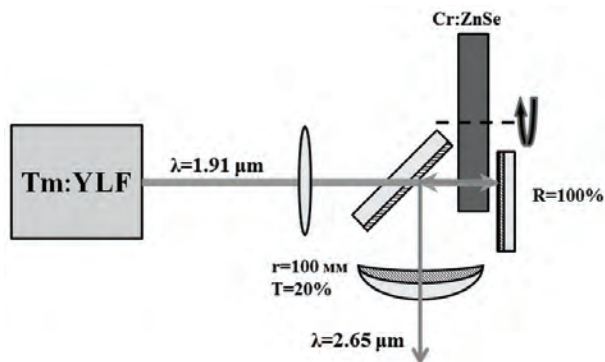


Рис. 3. Оптическая схема лазера Cr:ZnSe

Выходное сферическое зеркало имело радиус кривизны $r = 100 \text{ мм}$ и пропускание в спектральном

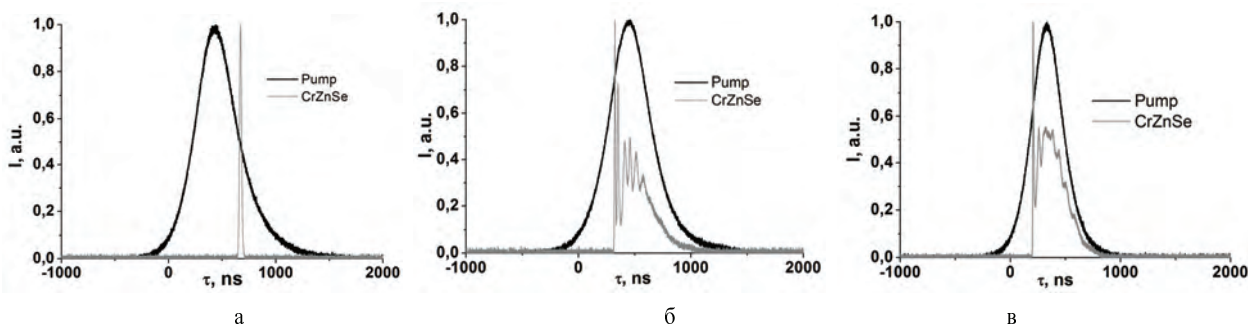


Рис. 6. Осциллограммы импульса излучения Cr:ZnSe-лазера (серая кривая) и импульса лазера накачки Tm:YLF-лазера (черная кривая) при различной мощности накачки

диапазоне $2,4\text{--}2,7 \mu\text{m}$ около $T \approx 20\%$. В результате проведения генерационных экспериментов длина волны излучения лазера Cr:ZnSe составила $\lambda = 2,65 \mu\text{m}$. Спектр лазерной генерации регистрировался с помощью монохроматора Acton SP 2500 производства фирмы Princeton Instruments. Спектр лазерного излучения представлен на рис. 4.

Также нами проводился анализ поперечного распределения интенсивности лазерного излучения с помощью ИК камеры Ругосат III-С-А. Изображение интенсивности поперечного сечения лазерного пучка представлено на рис. 5.

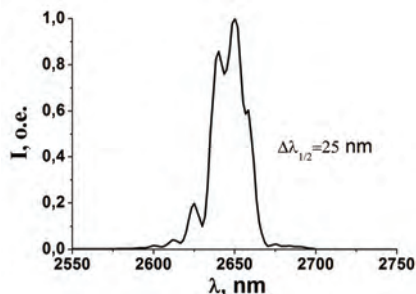


Рис. 4. Спектр лазерного излучения.

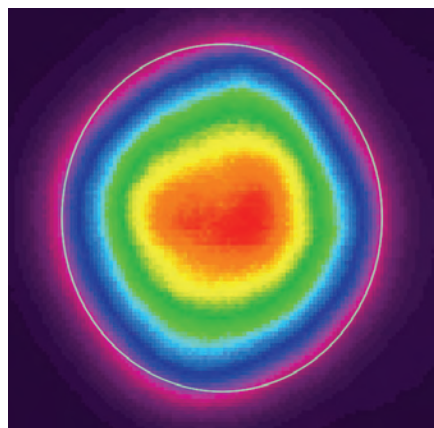


Рис. 5. Поперечное распределение интенсивности излучения лазера Cr:ZnSe

В ходе проведения экспериментов нами регистрировались импульсы генерации Cr:ZnSe-лазера при различной мощности накачки. Осциллограммы данных импульсов представлены на рис. 6а–6в.

На рис. 6а мощность накачки близка к пороговой, в результате чего наблюдается единственный узкий пик излучения Cr:ZnSe-лазера, связанный с TEM₀₀ модой. При увеличении мощности накачки (рис. 6б) для импульса генерации наблюдается характерная пиковая структура, обусловленная многомодовым режимом работы Cr:ZnSe-лазера и релаксационными колебаниями. При дальнейшем увеличении мощности накачки (рис. 6в) пик сливается, кроме первых двух, обусловленных генерацией и релаксационными колебаниями излучения на основной моде. Также стоит отметить уменьшение времени задержки импульса генерации относительно импульса накачки при увеличении мощности накачки.

График зависимости средней мощности генерации в относительных единицах от падающей на активный элемент Cr:ZnSe мощности накачки представлен на рис. 7. Мощность лазерного излучения измерялась с помощью измерителя мощности Nova II производства фирмы Ophir.

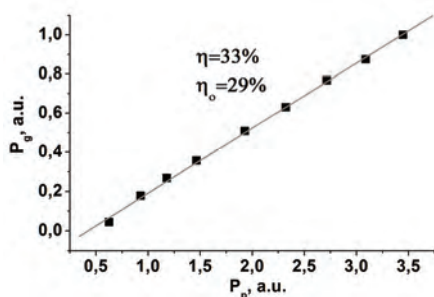


Рис. 7. Зависимость мощности генерации лазера Cr:ZnSe от мощности накачки

Дифференциальный коэффициент преобразования излучения накачки в излучение генерации составил $\eta = 33\%$, оптический КПД при этом оказался равен $\eta_0 = 29\%$.

Заключение

В работе реализован импульсно-периодический режим работы Cr:ZnSe-лазера при накачке лазером

на кристаллах Tm:YLF. Зарегистрирован спектр излучения генерации Cr²⁺:ZnSe-лазера. Исследована форма импульсов генерации Cr:ZnSe-лазера в зависимости от мощности накачки.

Получена зависимость мощности генерации Cr:ZnSe-лазера от падающей на активный элемент мощности накачки. Максимальный дифференциальный КПД в экспериментах составил $\eta = 33\%$, при оптическом КПД $\eta_0 = 29\%$. За счет вращения активного элемента удалось значительно повысить мощность лазера на основе поликристалла Cr:ZnSe.

Таким образом, можно утверждать, что данный метод борьбы с термолинзой позволяет создавать высокоэффективные источники лазерного излучения в спектральном диапазоне 2–3 мкм на соединениях Cr:ZnSe с необходимой для практических применений выходной мощностью.

Литература

1. Mirov S. B., Fedorov V. V., Martyshkin D. et al. Progress in Mid-IR Lasers Based on Cr and Fe-Doped II–VI Chalcogenides // Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2015. Vol. 21, № 1.
2. Mirov S., Moskalev I., Vasilyev S. et al. Frontiers of mid-IR lasers based on transition metal doped chalcogenides // Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2018.
3. Mirov S., Fedorov V., Moskalev I. et al. Progress in Cr²⁺ and Fe²⁺ doped mid-IR laser materials // Laser & Photon. Rev. 2010. Vol. 4, № 1. P. 21–41.
4. Mirov S., Fedorov V., Moskalev I. et al. Frontiers of mid-infrared lasers based on transition metal doped II–VI semiconductors // Journal of Luminescence. 2013. Vol. 133. P. 268–275.
5. Moskalev I., Mirov S., Gapontsev V. et al. 140 W Cr:ZnSe laser system // Optics Express. 2016. Vol. 24, № 18. P. 21090–21104.
6. Cankaya H., Demirbas U., Erdamar A. K., Senaroglu A. Absorption saturation analysis of Cr²⁺:ZnSe and Fe²⁺:ZnSe // Journal Optical Society of America B. 2008. Vol. 25, № 5. P. 794–800.