

Рассмотренное в работе асимптотическое решение сравнивается с приближенным решением, полученным методом конечных элементов. Сравнивая численное и аналитическое решения, можно объяснить различия в значениях тем, что при использовании численного метода имеем дело с сеткой конечных элементов.

Проявляются следующие закономерности:

- увеличение внешней нагрузки сопровождается разрастанием пластической области;
- при фиксированной нагрузке в более мягком материале появляется большая пластическая область.

УДК 621.373.826:535.54

### НЕПРЕРЫВНЫЙ ТУЛИЕВЫЙ МИКРОЧИП ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ В ОБЛАСТИ 1,95 МКМ

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

НИИ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Одним из актуальных направлений лазерной физики в настоящее время является создание лазерных систем, работающих в спектральном диапазоне 1.9 мкм. Для этих целей широко применяются лазерные кристаллы, активированные ионами тулия. Освоение данного спектрального диапазона открывает благоприятные перспективы решения ряда прикладных задач, таких как: дистанционное зондирование атмосферы, экологический мониторинг окружающей среды, развитие медицинских технологий, создание систем оптической связи. Кроме того, излучение с длиной волны более 2 мкм может быть эффективно преобразовано в средний ИК-диапазон (3-8 мкм) с помощью нелинейных кристаллов.

В последнее время все больше внимания уделяется разработке эффективных микрочип-лазеров, способных работать без системы активного охлаждения. Это обусловлено компактностью, простотой конструкции и сравнительно низкой стоимостью данных систем. Ранее микрочип-лазеры были реализованы на ряде кристаллов легированных ионами тулия например, на основе матриц:  $YVO_4$  [1],  $YLiF_4$  [2],  $YAlO_3$  [3],  $YAP$  [4],  $KY(WO_4)_2$  [5].

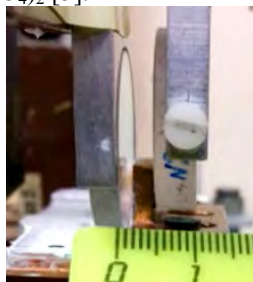


Рис. 1 – Фотография микрочип лазера

1. Timoshenko, S.P. Theory of Elasticity / S.P. Timoshenko, J.N. Goodier. – NY: McGraw-Hill – 1970. – С. 100-209.
2. Морозов, Е.М. Техническая механика разрушения – 1997. – 390 с.
3. Subramanya, H. Y., Viswanath, S., Narasimhan, R., A three- dimensional numerical study of mixed mode (i and ii) crack tip fields in elastic-plastic solids / H.Y. Subramanya, S. Viswanath, R. Narasimhan // International Journal of Fracture. – 2005. – P. 167–184.

В настоящей работе была получена эффективная генерация на основе кристалла  $Tm(13.2 \text{ ат}\%):KLuW$ . На рисунках 1 и 2 представлены фотография и схема макета микрочип лазера.

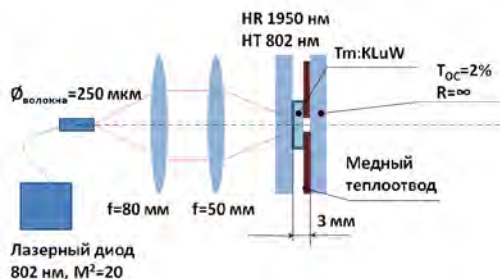


Рис. 2 – Схема микрочип лазера

Накачка осуществлялась лазерным диодом ( $M^2=20$ ) с длиной волны 802 нм, что соответствует максимуму в спектре поглощения ( $EINm$ ) кристалла  $Tm:KLuW$ . Диаметр волокна лазерного диода – 250 мкм. Система фокусировки излучения накачки, состоящая из двух линз, обеспечивала диаметр перетяжки в активном элементе 150 мкм. Кристалл толщиной 0.5 мм был вырезан вдоль оси оптической индикатриссы  $N_g$ . Лазерный элемент был закреплен на медном теплоотводе таким образом, что входное зеркало резонатора подводилось вплотную к торцу активного элемента. Между выходным зеркалом и активным элементом был воздушный зазор 2.5 мм. Лазер работал в непрерывном режиме генерации. Пропускание выходного зеркала составляло  $T=2\%$ . Зависимость выходной мощности от падающей мощности накачки показана на рисунке 3. Максимальная выходная мощность лазера составила 576 мВт.

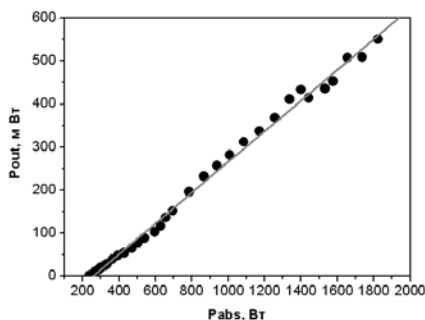


Рис. 3 – Зависимость выходной мощности микрочип  $\text{Tm}(13.2 \text{ ат}\%):\text{KLuW}$  лазера от поглощенной мощности накачки

На рисунке 4 представлен спектр лазерной генерации при падающей мощности накачки 1 Вт.

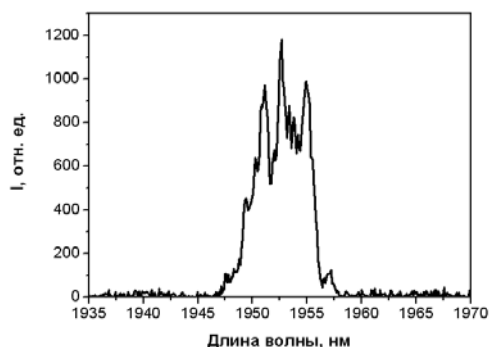


Рис. 4 – Спектр генерации микрочип лазера при падающей мощности накачки 1 Вт

На рисунке 5 представлен спектр усиления для Nm поляризации при относительной заселенности верхнего лазерного уровня 10.5%. Пунктирной линией показаны потери в резонаторе. Как видно из представленных данных, лазерная генерация возникла в области максимума в спектре усиления.

Порог генерации лазера наблюдался при 292 мВт падающей мощности накачки. В кристалле поглощалось  $\sim 70\%$  падающей мощности накачки. Дифференциальная эффективность по поглощенной мощности накачки составляла 36%. Лазер работал в режиме генерации  $\text{TEM}_{00}$  моды. Генерируемое излучение было поляризовано вдоль оптической индикатрисы Nm.

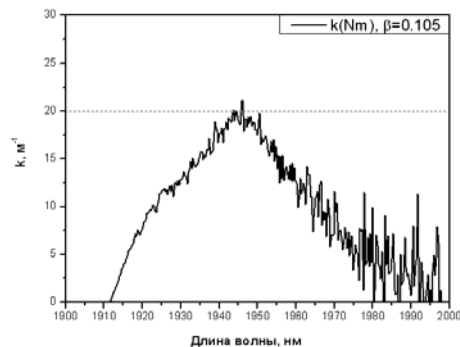


Рис. 5 – Спектр усиления кристалла  $\text{Tm}(13.2 \text{ ат}\%):\text{KLuW}$  для Nm поляризации, при относительной заселенности верхнего лазерного уровня 10.5%

Таким образом, была получена эффективная генерация на основе кристалла  $\text{Tm}:\text{KLuW}$  в микрочип конфигурации с диодной накачкой. Сравнительно высокая концентрация ионов тулия (13.2 ат.%) позволила использовать тонкий активный элемент и реализовать эффективное охлаждение кристалла, как результат, снизить термооптические напряжения. Максимальная выходная мощность лазера ограничивалась максимальной мощностью накачки.

1.  $\text{Tm}:\text{YVO}_4$  microchip laser/ J. J. Zayhowski, J. Harrison, C. Dill III, and J. Ochoa // Applied Optics, –1995.–Vol. 34, Issue 3, P. 435-437.
2. LD-pumped Ho,Tm:YLF microchip laser / Jing-hua Sun and Xin-lu Zhang// Journal of Marine Science and Application, Volume 2, Number 1, 71-75, 2003.
3. Comparative investigations on continuous wave operation of a-cut and b-cut  $\text{Tm},\text{Ho}:\text{YAIO}_3$  lasers at room temperature/ H. Bromberger, K.J. Yang, D. Heinecke, T. Dekorsy, L.H. Zheng, J. Xu, and G. J. Zhao // Appl. Phys. – 2008.
4. Room-temperature cw and pulsed operation of diode-end-pumped  $\text{Tm}:\text{YAP}$  laser/ S.S. Cai, J. Kong [et al.] // Appl. Phys. – 2008. – P. 133-136.
5. Thermal lensing and microchip laser performance of  $\text{N}_g$ -cut  $\text{Tm}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  crystal / M.S. Gaponenko, P.A. Loiko, N.V. Gusakova, K.V. Yumashev, N.V. Kuleshov, A.A. Pavlyuk // Appl. Phys. B, P. 603-607, 2012.