

Внутрирезонаторное квазисинхронное сложение частот в лазере на активно-нелинейном кристалле Nd : Mg : LiNbO₃ с регулярной доменной структурой

Н.В.Кравцов*, Г.Д.Лаптев**, И.И.Наумова***, А.А.Новиков***, В.В.Фирсов*, А.С.Чиркин***

Экспериментально реализовано внутрирезонаторное сложение частот лазерной генерации ($\lambda = 1.084$ мкм) и излучения накачки от полупроводникового лазера ($\lambda = 0.81$ мкм) в активно-нелинейном кристалле Nd : Mg : LiNbO₃ с регулярной доменной структурой.

Ключевые слова: активно-нелинейный кристалл, регулярная доменная структура, самопреобразование частоты, квазисинхронная генерация.

Исследование активно-нелинейных кристаллов, активированных редкоземельными ионами и сочетающих в себе одновременно активные (лазерные) и нелинейные свойства, началось еще в конце 60-х годов [1–3]. Последние достижения в этой области лазерной физики связаны с использованием для накачки полупроводниковых лазерных диодов [4, 5] и появлением новых активно-нелинейных кристаллов, обладающих высокой нелинейностью, хорошими оптическими свойствами и высокими порогами оптического повреждения [6–8]. Применение активно-нелинейных кристаллов с регулярной доменной структурой (РДС) открывает новые возможности для эффективного самопреобразования частоты, когда в кристалле возникают лазерная генерация на определенной частоте и квазисинхронное нелинейное преобразование (генерация гармоник, суммирование частот, ВКР-преобразование и т. п.) частоты этого излучения [9–12].

В настоящей работе приводятся первые результаты экспериментальных исследований по сложению в активно-нелинейном кристалле Nd : Mg : LiNbO₃ с РДС частот лазерной генерации и излучения полупроводникового лазера, служащего для накачки. Кристалл выращен из расплава, состав которого был близок к конгруэнтному, по методу Чохральского вдоль нормали к плотноупакованной грани {01 $\bar{1}$ 2}. Такой кристалл обычно называют кристаллом «гранного типа» [13]. Диаметр грани на фронте роста составлял 10–15 мм, а кристаллической були – 20 мм, доменные стенки в центральной части були были параллельны грани {01 $\bar{1}$ 2}. Указанная грань формировала плоские доменные стенки и делала доменную структуру устойчивой к температурному влиянию.

Периодичность доменной структуры и концентрация примесей Nd₂O₃ и MgO исследовались методами избирательного химического травления и рентгеновского микроанализа [13]. Средние весовые концентрации Nd₂O₃ и MgO, использованные при выращивании кристалла Nd : Mg : LiNbO₃ с РДС, были равны (0.5 ± 0.2) % и (0.8 ± 0.04) % соответственно. Период доменной структуры, определяемый отношением скорости вытягивания к скорости вращения кристалла в процессе его роста, на длине кристалла 14 мм составлял (4 ± 0.1) мкм.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис.1. Активно-нелинейный кристалл Nd : Mg : LiNbO₃ с периодом РДС, примерно равным 4 мкм, и длиной 7 мм помещался внутри полуконцентрического резонатора длиной 20 см вблизи плоского зеркала. Накачка проводилась двумя термостабилизированными полупроводниковыми лазерами с длиной волны генерации $\lambda_p = 0.81$ мкм (АТС-С1000-100-АМО и АТС-С1000-150-АМО), сложение излучения которых осуществлялось с помощью поляризационного кубика. Генерация лазера происходила в непрерывном режиме на длине волны $\lambda_{las} = 1.084$ мкм. Плоское зеркало имело высокий коэффициент отражения на длине волны лазерной генерации ($R_{1.084} = 99.9\%$) и высокое пропускание на длине волны полупроводниковой накачки ($T_{0.81} = 85\%$). Длины волн излучений, выходящих через сферическое зеркало ($R_{1.084} = 99.9\%$, $T_{0.464} = 90\%$, $T_{0.81} = 90\%$), измерялись с

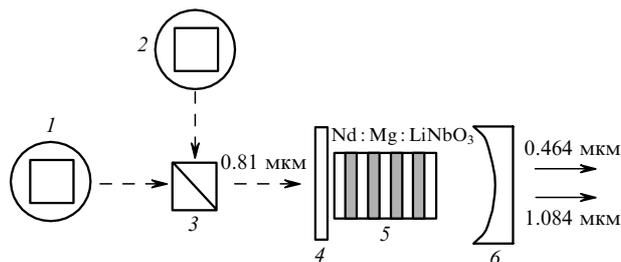


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1, 2 – лазерные диоды; 3 – смесительный кубик; 4 – плоское зеркало; 5 – активно-нелинейный кристалл; 6 – сферическое зеркало.

*НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына при МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы

**Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы; e-mail: laptev@qorm.phys.msu.su

***Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы; e-mail: novikov@qorm.phys.msu.su

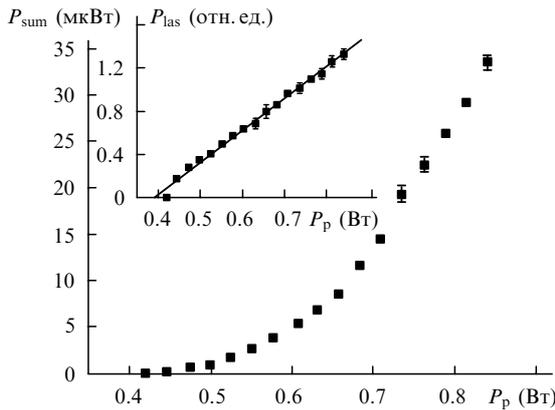


Рис.2. Зависимости мощности излучения лазерной генерации P_{las} (1.084 мкм) и мощности волны суммарной частоты P_{sum} (0.464 мкм) от поглощенной в кристалле мощности накачки P_p .

помощью монохроматора, а их мощность регистрировалась измерителем мощности.

В активно-нелинейном кристалле Nd:Mg:LiNbO₃ с РДС поглощалось около 60 % излучения накачки на $\lambda_p = 0.81$ мкм. Эта часть излучения накачки создавала инверсию населенности в активном элементе и приводила к возникновению когерентного излучения с $\lambda_{las} = 1.084$ мкм. Оставшаяся непоглощенная часть излучения накачки принимала участие в нелинейном взаимодействии с излучением лазерной генерации. В результате возникало излучение на суммарной частоте, которое выводилось из резонатора.

Измеренная длина волны на суммарной частоте оказалась равной 0.464 мкм, что хорошо согласуется с расчетным значением. Экспериментально измеренные зависимости мощностей лазерного излучения и волны суммарной частоты ($\lambda_{sum} = 0.464$ мкм) от поглощенной мощности накачки показаны на рис.2. Видно, что мощность генерации на основной длине волны (1.084 мкм) растет с увеличением мощности накачки линейно, а мощность на суммарной частоте ($\nu_{las} + \nu_p$) – практически квадратично.

Таким образом, в настоящем эксперименте реализовано внутрирезонаторное квазисинхронное сложение частот лазерной генерации и излучения накачки в активно-нелинейном кристалле Nd:Mg:LiNbO₃ с РДС.

Можно ожидать, что оптимизация характеристик активно-нелинейных кристаллов с РДС, в частности степени периодичности доменной структуры (отметим, что в наших экспериментах отклонения от расчетного периода достигали 0.1 мкм) и оптического качества самого активно-нелинейного кристалла, позволит не только повысить эффективность процесса суммирования частот, но и реализовать другие схемы самопреобразования частоты в активно-нелинейных кристаллах с РДС [12].

Авторы благодарны Н.Ф.Евлановой, С.А.Блохину и Д.С.Куликовой за помощь в выращивании, обработке и исследовании кристалла Nd:Mg:LiNbO₃ с РДС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 00-02-16040 и 02-02-06470).

1. Евланова Н.Ф., Ковалев А.С., Копчик В.А., Корниенко Л.С., Прохоров А.М., Рашкович Л.Н. *Письма в ЖЭТФ*, **5**, 351 (1967).
2. Johnson L.F., Ballman A.A. *J. Appl. Phys.*, **40**, 297 (1969).
3. Дмитриев В.Г., Раевский Е.В., Рубинина Н.М., Рашкович Л.Н., Силичев О.О., Фомичев А.А. *Письма в ЖТФ*, **5**, 1400 (1979).
4. Wang C.Q., Chow Y.T., Gambling W.A., Zhang S.J., Cheng Z.X., Shao Z.S., Chen H.C. *Opt. Commun.*, **174**, 471 (2000).
5. Dekker P., Dawes J.M., Piper J.A., Liu Y., Wang J. *Opt. Commun.*, **195**, 431 (2001).
6. Ye Q., Shah L., Eichenhold J., Hammons D., Peale R., Richardson M., Chin A., Chai B.H.T. *Opt. Commun.*, **164**, 33 (1999).
7. Lu J., Li G., Liu J., Zhang S., Chen H., Jiang M., Shao Z. *Opt. Commun.*, **168**, 405 (1999).
8. Каминский А.А., Хаке Д., Багаев С.Н., Уеда К., Гарсия-Золе Х., Капмани Х. *Квантовая электроника*, **26**, 95 (1999).
9. Кравцов Н.В., Лаптев Г.Д., Морозов Е.Ю., Наумова И.И., Фирсов В.В. *Квантовая электроника*, **29**, 95 (1999).
10. Sohler W. *Techni. Dig. of the Pacific Rim Conf. on Lasers and Electro-Optics* (Seoul, 1999, p. 1265).
11. Capmany J., Callejo D., Bermudez V., Dieguez E., Artigas D., Torner L. *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 293 (2001).
12. Laptev G.D., Novikov A.A., Chirkin A.S. *J. Russian Laser Research*, **23**, 183 (2002).
13. Naumova I.I., Evlanova N.F., Blokhin S.A., Lavrishchev S.V. *J. Crystal Growth*, **187**, 102 (1998).