

Квазисинхронное самоудвоение и сложение частот в режиме модуляции добротности в лазере на кристалле $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ с регулярной доменной структурой

Г.Д.Лаптев, А.А.Новиков, В.В.Фирсов

Экспериментально реализованы процессы квазисинхронной генерации второй гармоники (542 нм) за счет самоудвоения частоты лазерной генерации (1084 нм), а также квазисинхронной генерации суммарной частоты (464 нм) за счет сложения частот лазерной генерации и непоглощенной части излучения полупроводниковой лазерной накачки (810 нм). Процессы реализованы в режиме модуляции добротности в лазере на активно-нелинейном кристалле $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ с регулярной доменной структурой.

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

1. Введение

Последние достижения в области лазеров с самопреобразованием частоты связаны с использованием активно-нелинейных кристаллов, в которых активные (лазерные) свойства реализуются за счет введения примеси редкоземельных ионов (Nd, Er, Yb) в матрицу, являющуюся нелинейным кристаллом с регулярной доменной структурой (РДС) [1–5].

Использование активно-нелинейных РДС-кристаллов в сочетании с полупроводниковой лазерной накачкой существенно расширяет возможности реализации процессов самопреобразования частот, что имеет большое значение для создания компактных и надежных твердотельных лазерных источников в синем, зеленом, красном и ИК спектральных диапазонах [6]. В активно-нелинейных РДС-кристаллах, помещенных в резонатор, можно реализовать нелинейно-оптические взаимодействия с участием излучений лазерной генерации и ее гармоник, а также излучения накачки [6, 7].

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по квазисинхронному самоудвоению частоты лазерной генерации и квазисинхронному сложению частот лазерной генерации и накачки в активно-нелинейном РДС-кристалле $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ в режиме модуляции добротности.

2. РДС-кристаллы $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$

Активно-нелинейный РДС-кристалл $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ является многообещающим материалом для нелинейно-

оптических устройств с квазисинхронным самопреобразованием частоты [2–5]. Ионы Nd определяют активные свойства кристалла [8], а РДС позволяет выполнить условия эффективного нелинейного преобразования частоты. Для проведения экспериментов РДС-кристаллы $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ были выращены из расплава (состав которого был близок к конгруэнтному) по методу Чохральского вдоль нормали к плотноупакованной грани (0112) [9]. Такие кристаллы являются кристаллами так называемого гранного типа. Период РДС Λ в них определяется отношением скорости вытягивания кристалла из расплава к скорости его вращения в процессе роста. Периодичность доменной структуры и концентрации примесей Nd_2O_3 и MgO в кристалле исследовались методом избирательного химического травления и рентгеновского микроанализа [10]. Исследования показали, что в выращенных кристаллах средние весовые концентрации Nd_2O_3 и MgO соответственно составляли $\sim 0.5\%$ и $\sim 0.8\%$, доменные стенки в центральной части кристаллической були были параллельны грани (0112) (рис.1). Для проведения экспериментов по квазисинхронному самоудвоению и сложению частот были изготовлены два элемента с $\Lambda \sim 7$ и ~ 4 мкм.

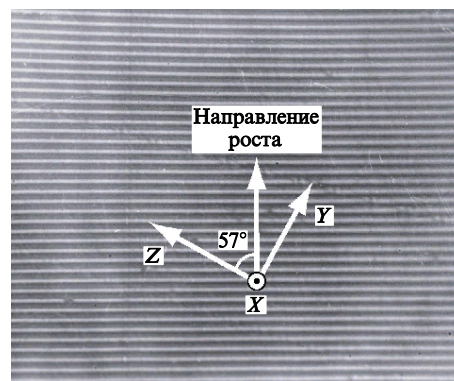


Рис.1. Фотография РДС в кристалле $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$, полученная методом избирательного химического травления (X, Y и Z – кристаллографические оси).

Г.Д.Лаптев. Международный учебно-научный лазерный центр МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы; тел.: (095) 939 22 28, факс: (095) 939 31 13, e-mail: gdl@hotmail.ru

А.А.Новиков. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы

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

Поступила в редакцию 9 сентября 2003 г., после доработки – 11 октября 2003 г.

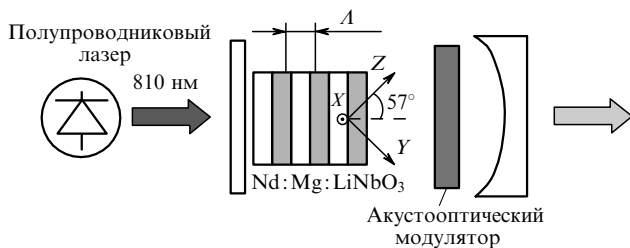


Рис.2. Схема экспериментальной установки.

3. Квазисинхронное самоудвоение в РДС-кристалле Nd : Mg : LiNbO₃

Схема экспериментальной установки представлена на рис.2. Элемент длиной 7 мм с периодом $L = 7 \pm 0.2$ мкм располагался внутри полуконцентрического резонатора вблизи плоского зеркала. Радиус кривизны сферического зеркала составлял 20 см, длина резонатора – около 21 см. Плоское зеркало имело высокое отражение на длинах волн лазерной генерации (1084 нм) и ее второй гармоники (542 нм). Сферическое зеркало резонатора было выходным и имело высокое отражение на длине волны лазерной генерации и высокое пропускание (около 80 %) на длине волны второй гармоники. Накачка кристалла осуществлялась в непрерывном режиме излучением полупроводникового лазера АТС-С1000-150 с длиной волны $\lambda = 810$ нм. В кристалле поглощалось излучение накачки мощностью около 0.4 Вт. Диаметр пучка накачки в кристалле составлял ~ 150 мкм. Для модуляции добротности использовался акустооптический модулятор МЗ-302.

Плоскости поляризации излучений лазерной генерации, второй гармоники и накачки были параллельны и лежали в плоскости YZ. Таким образом, в кристалле было реализовано нелинейное взаимодействие типа $ee-e$. Нелинейный коэффициент d_{33} (наибольший для ниобата лития) вносил основной вклад в генерацию второй гармоники. В условиях данного эксперимента расчетный эффективный нелинейный коэффициент составлял 12 пм/В (расчет проведен на основании данных работы [11]). На рис.3,4 представлены зависимости средней выходной мощности второй гармоники (542 нм), пиковой мощности и длительности импульса второй гармоники от частоты повторения импульсов.

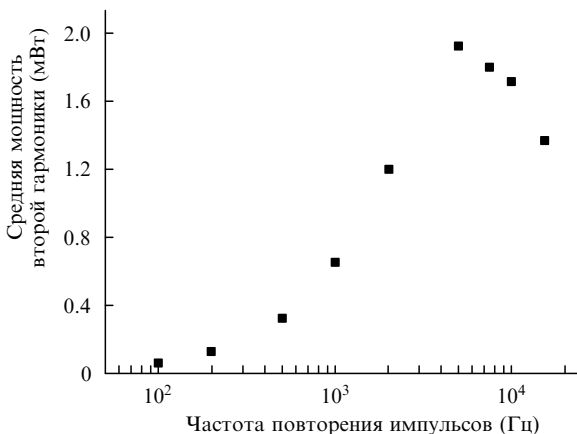


Рис.3. Зависимость средней выходной мощности второй гармоники (542 нм) от частоты повторения импульсов.

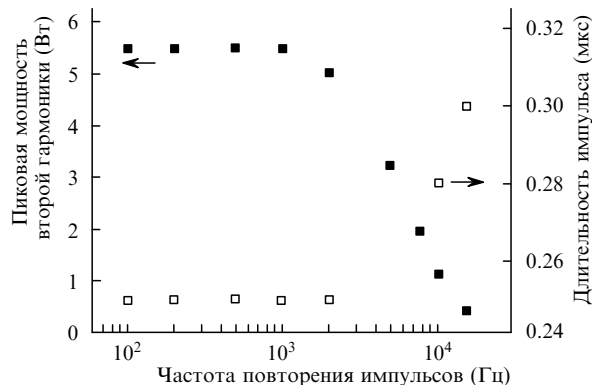


Рис.4. Зависимости пиковой мощности (■) и длительности (□) импульса второй гармоники (542 нм) от частоты повторения импульсов.

4. Квазисинхронное сложение частот лазерной генерации и накачки в РДС-кристалле Nd : Mg : LiNbO₃

В рассматриваемом процессе поглощенная часть излучения накачки вызывает лазерную генерацию, а непоглощенная часть накачки (810 нм) используется для сложения (смешения) с излучением лазерной генерации (1084 нм). В результате происходит генерация излучения на суммарной частоте (464 нм), что соответствует излучению в синем диапазоне спектра. Исследуемый РДС-кристалл Nd : Mg : LiNbO₃ (длина 6 мм, период $L = 4 \pm 0.1$ мкм) располагался внутри полуконцентрического резонатора вблизи плоского зеркала. Радиус кривизны сферического зеркала составлял 20 см, длина резонатора была равна ~ 21 см. Плоское зеркало имело высокое отражение для излучения лазерной генерации, выходное (сферическое) зеркало – высокое отражение для излучения лазерной генерации и высокое пропускание (около 90 %) для волны суммарной частоты.

Накачка кристалла осуществлялась в непрерывном режиме излучением полупроводниковых лазеров АТС-С1000-150 и АТС-С500-35 с $\lambda = 810$ нм. В кристалле поглощалось излучение накачки мощностью около 0.9 Вт. Для модуляции добротности использовался тот же акустооптический модулятор МЗ-302. Плоскости поляризации лазерной генерации, накачки и волны суммарной частоты были параллельны и лежали в плоскости YZ, что обеспечивало нелинейное $ee-e$ -взаимодействие с

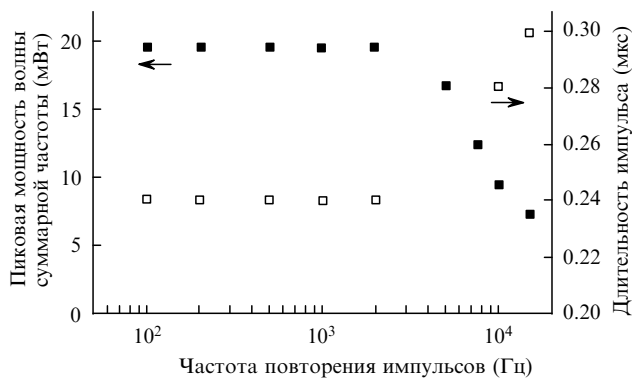


Рис.5. Зависимости пиковой мощности (■) и длительности (□) импульса суммарной частоты (464 нм) от частоты повторения импульсов.

наибольшим вкладом нелинейного коэффициента d_{33} . На рис.5 представлены зависимости пиковой мощности и длительности импульса волны суммарной частоты от частоты повторения импульсов.

5. Заключение

Таким образом, в данной работе экспериментально реализованы и исследованы квазисинхронные процессы самоудвоения и сложения частот в лазере на активно-нелинейном РДС-кристалле Nd:Mg:LiNbO₃ в режиме модуляции добротности. Хотя полученные в экспериментах эффективности генерации второй гармоники и волны суммарной частоты оказались достаточно низкими, тем не менее в настоящее время это лучшие результаты для лазеров на активно-нелинейных РДС-кристаллах. Можно ожидать, что дальнейшая оптимизация периода доменной структуры и других параметров кристалла (оптического качества, длины кристалла и концентрации активных ионов) не только существенно повысит эффективность нелинейного преобразования частоты в процессах, рассмотренных в этой работе, но и позволит реализовать более сложные процессы самопреобразования частот в активно-нелинейных РДС-кристаллах [6].

Авторы очень признательны И.И.Наумовой за предоставленные РДС-кристаллы Nd:Mg:LiNbO₃, Н.В.Чигареву за помощь в проведении экспериментов и А.С.Чиркину за полезные обсуждения и замечания.

1. Abedin K.S., Tsuritani T., Sato M., Ito H. *Appl. Phys. Lett.*, **70**, 10 (1997).
2. Кравцов Н.В., Лаптев Г.Д., Морозов Е.Ю., Наумова И.И., Фирсов В.В. *Квантовая электроника*, **29**, 95 (1999).
3. Carmany J. *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 144 (2001).
4. Barraco L., Grisard A., Lallier E., Bourdon P., Pocholle J.-P. *Opt. Lett.*, **27**, 1540 (2002).
5. Кравцов Н.В., Лаптев Г.Д., Наумова И.И., Новиков А.А., Фирсов В.В., Чиркин А.С. *Квантовая электроника*, **32**, 923 (2002).
6. Laptev G.D., Novikov A.A., Chirkin A.S. *J. Russian Laser Research*, **23**, 183 (2002).
7. Лаптев Г.Д., Новиков А.А., Чиркин А.С. *Письма в ЖЭТФ*, **78**, 45 (2003).
8. Fan T.Y., Gordova-Plaza A., Digonnet M.J.F., Byer R.L., Shaw N.J. *J. Opt. Soc. Am. B*, **3**, 140 (1986).
9. Naumova I.I., Evlanova N.F., Blokhin S.A., Lavrishchev S.V. *J. Crystal Growth*, **187**, 102 (1998).
10. Naumova I.I., Evlanova N.F., Gliko O.A., Lavrishchev S.V. *J. Crystal Growth*, **181**, 160 (1997).
11. Гурзаян Г.Г., Дмитриев В.Г., Никогосян Д.Н. *Нелинейно-оптические кристаллы. Свойства и применения в квантовой электронике* (М.: Радио и связь, 1991).