

07;12

Дисперсионные резонаторы с объемными голографическими решетками

© Е.А. Тихонов, В.И. Безродный, Т.Н. Смирнова

Институт физики НАН Украины, Киев

Поступило в Редакцию 2 августа 2000 г.

Использованы объемные фазовые решетки в дисперсионном резонаторе перестраиваемого лазера. Полученные результаты свидетельствуют об их несомненных преимуществах по сравнению с аналогичными резонаторами, использующими рельефную отражательную решетку с углом блеска.

Объемные голографические решетки (ОГР) относятся к классу дифракционных оптических элементов с дифракцией, подчиняющейся условию Брэгга [1]. Известно несколько типов голографических материалов с фазовым откликом, на которых осуществима запись ОГР (бихромированная желатина, фотополимеры, фоторефрактивные кристаллы). Для создания пропускающих дифракционных решеток безусловно перспективными представляются самопроявляющиеся фотополимеры, как по технологии записи, происходящей в реальном времени, так и по достигнутым характеристикам [2–3].

Угловая ($\Delta\theta$) и спектральная ($\Delta\lambda$) селективность пропускающих ОГР с гармоническим профилем модуляции коэффициента преломления в рамках двухволновой теории [1] определяются соответственно соотношениями:

$$2\Delta\theta \approx \frac{\Lambda}{T}, \quad (1a)$$

$$2\Delta\lambda \approx \frac{\lambda \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \Lambda}{T}, \quad (1б)$$

где Λ — период, T — толщина решетки, θ_0 — угол Брэгга.

Видно, что толщина T является одним из ключевых параметров управления спектральной и угловой селективностью таких решеток. Соответственно пропускающие ОГР отличаются от рельефных дифракционных решеток наличием спектрально-угловой селективности. В отношении возможности изменять T фотополимеры выгодно отличаются от других регистрирующих материалов [4].

В отличие от рельефных решеток, для которых разрешающая способность определяется полным числом штрихов в апертуре пучка, для ОГР разрешающая способность определяется как

$$\lambda/\delta\lambda = (T/\Lambda) \cdot \operatorname{tg}\theta_0. \quad (2)$$

Эта величина, как и в случае рельефных решеток, есть эффективное число фазовых плоскостей решетки, принимающих участие в дифракции. Видно, что от поперечных размеров пучка разрешающая способность пропускающей брэгговской решетки не зависит. Кроме того, наличие угловой селективности снимает требование на освещение брэгговской решетки коллимированным пучком. Поэтому применение такой решетки в спектральных приборах вообще и в дисперсионных резонаторах в частности упрощает их конструкцию. Дисперсионные резонаторы лазеров с перестройкой частоты на рельефных решетках для получения узкой линии генерации либо содержат телескопические системы расширения пучка [5], либо задача увеличения N в используемой решетке решается за счет "скользящего" падения пучка на решетку [6].

ОГР пока не вышли на стадию систематических применений в приборостроении, поскольку отсутствуют данные о наличии у них преимуществ перед рельефными решетками на фоторезистах с отражательным покрытием. Последние широко применяются в спектральном и лазерном приборостроении вместо нарезных решеток с сохранением наработанных оптических схем.

В данном сообщении приведены результаты использования объемных фазовых решеток в дисперсионном резонаторе перестраиваемого лазера. Главная цель при создании таких резонаторов — получение одночастотной генерации в сочетании с простым механизмом перестройки частоты генерации в пределах контура усиления лазерных сред.

Для самопроявляющихся фотополимеров ФПК-488 вариации толщины при сохранении $\eta \approx 100\%$ возможны от 10 до 1000 μm [4], что изменяет на порядки угловую $2\Delta\theta$ и спектральную $2\Delta\lambda$ полуширины. Так, в случае $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ и $T = 10 \mu\text{m}$ $2\Delta\theta = 5.3^\circ$, $2\Delta\lambda = 60 \text{ nm}$ для $\lambda = 600 \text{ nm}$, а при $T = 200 \mu\text{m}$ $2\Delta\lambda = 3 \text{ nm}$. Поэтому для решетки с $T = 10 \mu\text{m}$, выбирая угол Брэгга с нулевой расстройкой на длине волны максимума спектра усиления, диапазон перестройки $\Delta\lambda = \pm 300 \text{ nm}$ получим при изменении угла наклона зеркала на $\pm 4.5^\circ$. Для решетки с $T = 200 \mu\text{m}$ перестройка в таком же спектральном интервале требует

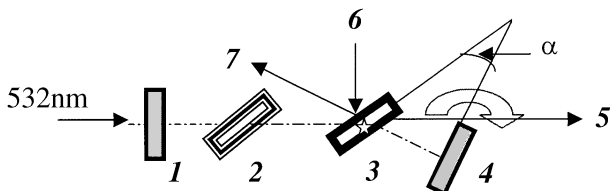


Рис. 1. Оптическая схема перестраиваемого лазера на красителях с дисперсионным резонатором на основе ОГР: 1 — M_1 -зеркало, 2 — АЭ активный элемент, 3 — ОГР, 4 — M_2 -зеркало, 5 — вывод 1, 6 — ось вращения, 7 — вывод 2.

такого же поворота зеркала. Однако диапазон углов $\pm 4.5^\circ$ превышает угловую селективность решетки 0.26° на полтора порядка. Это значит, что перестройка в пределах 60 nm с такой решеткой за счет лишь одного поворота зеркала невозможна: необходимо вращать связанную систему зеркало–решетка одновременно.

Схема лазера с дисперсионным резонатором на основе объемной пропускающей решетки представлена на рис. 1. Перестройка частоты генерации осуществляется вращением одного из зеркал M_1 , M_2 при неподвижной решетке. Вывод генерируемого излучения из резонатора можно осуществить традиционно через полупрозрачное зеркало (M_2). Наличие 0-го пучка дифракции при $\eta < 100\%$ позволяет выводить излучение в направлении выхода 1 и 2. При этом зеркало M_2 может быть глухим.

Для уменьшения ширины линии генерации (в пределе до генерации на одной продольной моде) необходимо увеличить T решетки. Осуществлять перестройку частоты генерации в пределах контура усиления лазерной среды АЭ в данном случае можно лишь при синхронном вращении связанной системы зеркало–решетка. Перестройка реализуется при жестком сцеплении зеркала и решетки ($\alpha = \text{const}$) и вращении узла зеркало–решетка вокруг оси, обозначенной звездочкой на рис. 1 и перпендикулярной плоскости рисунка.

Типичные спектры перестройки лазера на основе красителей в полиуретанакрилатной матрице с продольной импульсной накачкой второй гармоникой от лазера на $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ с дисперсионным резонатором на основе ОГР с $N = 1200 \text{ mm}^{-1}$ и $T = 10 \text{ }\mu\text{m}$ представлены на рис. 2.

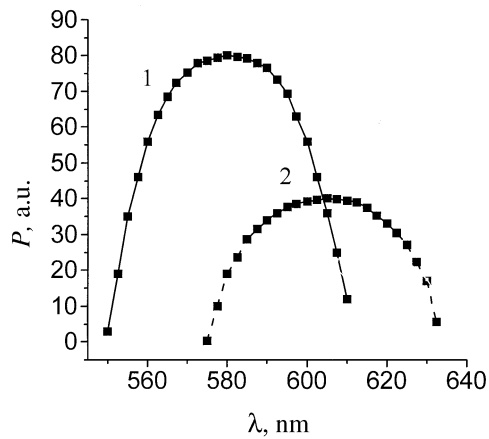


Рис. 2. Зависимость выходной мощности (P) перестраиваемого лазера от длины волны (λ) генерации: 1 — пирометен-597, 2 — феналинон-160.

С ОГР дисперсионный резонатор проявляет заметные отличия в сравнении с аналогичным резонатором, использующим рельефную отражательную решетку с углом блеска. Так, измерение угловой расходимости (усредненной за длительность импульса генерации ≈ 20 ns) для лазеров с резонаторами равной длины 25 см показало, что в резонаторе с ОГР ($N = 1200 \text{ mm}^{-1}$ и $T = 20 \text{ }\mu\text{m}$) она систематически ниже, чем у лазера с резонатором на основе рельефной отражательной решетки с такой же N . Соответствующие величины расходимости пучков генерации составили 3.5 mrad на пороге и 4.5 mrad при 10-кратной надпороговой перекачке в лазере с рельефной отражательной решеткой и соответственно 2 и 2.5 mrad для лазера с ОГР. Системы телескопирования в обоих резонаторах отсутствовали.

Сочетание угловой дисперсии ОГР с ее угловой селективностью существенно увеличивает спектральную селективность резонатора в результате уменьшения зависимости ширины линии генерации от расходимости. При равных дисперсиях решеток с $N = 1200 \text{ mm}^{-1}$ в резонаторе с ОГР наблюдалось сужение линии генерации примерно на порядок. Использование решетки с $T = 100 \text{ }\mu\text{m}$ ($\Delta\theta \approx 0.5^\circ$) позволило уменьшить ширину линии генерации до 1.5 pm.

Высокая селективность брэгговского резонанса в толстых голографических решетках позволяет даже полностью отказаться от использования дисперсионных резонаторов, применив конфигурацию из двух эквивалентных решеток с вычитанием дисперсии [7].

Список литературы

- [1] *Kogelnik H.* // Bell System Tech. J. 1969. N 48. P. 2909–2947.
- [2] *Тихонов Е.А., Гольназаров Э.С., Смирнова Т.Н.* // Квантовая электроника: Сборник. Киев: Наук. думка, 1991. № 40. С. 3–20.
- [3] *Tikhonov E.A., Smirnova T.N., Sarbaev T.A.* // Proc. SPIE. 1994. V. 1252. P. 322–332.
- [4] *Сахно О.В., Смирнова Т.Н., Тихонов Е.А.* // ЖТФ. 1993. Т. 63. № 12. С. 70–82.
- [5] *Duarte F.J.* // Opt. Commun. 1995. V. 117. N 5. P. 480–484.
- [6] *Lo D., Lam S.K., Ye C., Lam K.S.* // Opt. Commun. 1998. V. 156. N 4. P. 316–320.
- [7] *Стрелец И.А., Тихонов Е.А.* // ЖТФ. 1995. Т. 65. № 12. С. 60–68.