

Поляризационные магнитооптические эффекты в непрерывном $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ -лазере ($\lambda = 1.06425$ и 1.3418 мкм) с полупроводниковой накачкой

А.А.Каминский*, Н.В.Кравцов**, Н.И.Наумкин**, С.Н.Чекина***, В.В.Фирсов**

Исследована зависимость характеристик непрерывного лазера на кристалле $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ($\lambda = 1.06425$ мкм) от напряженности продольного магнитного поля. Обнаружена высокая чувствительность лазера к воздействию переменного магнитного поля с частотой, равной частоте релаксационных колебаний. Продемонстрирована также возможность получения в таком лазере непрерывной генерации с $\lambda = 1.3418$ мкм.

Ключевые слова: магнитооптика, активные среды, динамика излучения.

Существование магнитооптических явлений в активных средах твердотельных лазеров открывает новые возможности при изучении поляризационных эффектов в таких лазерах, а также представляет интерес для управления их выходными характеристиками.

Исследования в этом направлении долгие годы были весьма ограничены из-за сложностей, связанных с использованием ламповой накачки для возбуждения твердотельных лазеров, и невысокой магнитной активности традиционно применяемых активных сред ($\text{Nd}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, $\text{Nd}^{3+}:\text{YLiF}_4$, стекла, активированные ионами Nd^{3+} , и др.). Переход к полупроводниковой накачке и использование новых активных сред позволили активизировать исследования в области магнитооптики твердотельных лазеров [1–3].

В настоящей работе исследуются магнитооптические явления в лазере на кристалле германата висмута, активированном трехвалентным неодимом ($\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) и обладающем не только высокой магнитооптической активностью, но и хорошими генерационными свойствами. Кристалл $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (атомная концентрация ионов Nd^{3+} равна $\sim 1\%$) со структурой эвлитина (пространственная группа $T_d^2 - \bar{4}3d$) был выращен методом Чохральского в платиновом тигле. Ионы Nd^{3+} , придающие кристаллу лазерные свойства, замещают в его структуре ионы Bi^{3+} в позиции локальной симметрии C_3 . Теплопроводность кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ равна ~ 0.06 Вт/(см·К), твердость – 315 кг/мм².

Кристалл $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ обладает большими эффективными сечениями $\sigma = 1.34 \cdot 10^{-19}$ и $0.5 \cdot 10^{-19}$ см² лазерных переходов ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ ($\lambda = 1.06425$ мкм) и ${}^4I_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ ($\lambda = 1.3418$ мкм) соответственно. Время релаксации метастабильного уровня T_1 (при температуре

300 К и концентрации ионов Nd^{3+} порядка 1%) составляет 200 мкс [4]. Спектр поглощения имеет сильные линии вблизи $\lambda = 0.810$ мкм с коэффициентом поглощения около 6 см^{-1} [5].

Активный элемент лазера имел вид цилиндра с длиной 20 мм и диаметром 5 мм. На один из его торцов было нанесено селективное зеркало, имеющее высокий ($\sim 99\%$) коэффициент отражения вблизи $\lambda = 1.06425$ и 1.3418 мкм и высокий коэффициент пропускания для излучения накачки ($\lambda = 0.81$ мкм). Второй торец кристалла был просветлен для указанных длин волн. Резонатор лазера ($L = 200$ мм) был образован сферическим зеркалом ($R = 200$ мм) и зеркалом, напыленным на торец кристалла.

Кристалл находился в соленоиде, создающем постоянное или переменное (на частотах до 90 кГц) магнитное поле с напряженностью $H \leq 0.08$ Т. С целью обеспечения максимальной стабильности лазера были приняты меры для избежания механического контакта активного элемента и соленоида (кристалл имел независимое от соленоида крепление, а его диаметр был меньше внутреннего диаметра соленоида). Внутри резонатора лазера вводилась брюстеровская пластинка, определяющая поляризацию излучения лазера. Все конструктивные элементы лазера были выполнены из немагнитных сплавов.

Возбуждение лазера производилось по продольной схеме сфокусированным линейно поляризованным излучением полупроводникового лазера ($\lambda = 0.81$ мкм) мощностью до 500 мВт. Система регистрации обеспечивала возможность исследования временных, спектральных, энергетических и поляризационных характеристик лазерного излучения.

В процессе исследований было установлено следующее:

– лазер может генерировать непрерывное излучение на длинах волн $\lambda = 1.06425$ (переход ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) и 1.3418 мкм (переход ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$); в последнем случае необходимо внесение в резонатор селективных потерь на $\lambda = 1.064250$ мкм, что достигалось при использовании выходного зеркала с высоким пропусканием на этой длине волны;

– пороговая мощность накачки при генерации с $\lambda =$

*Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Россия, 117333 Москва, Ленинский просп., 59

**НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына при МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы

***Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы

1.3418 мкм всего в 1.5 раза выше, чем при генерации с $\lambda = 1.06425$ мкм (около 100 мВт), в то время как в $\text{Nd}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -лазере эти мощности различаются более чем в 4 раза;

– в отсутствие магнитного поля излучение лазера при небольших превышениях пороговой мощности накачки ($\eta < 1.2$) линейно поляризовано (даже в отсутствие бростеровской пластинки), что, по-видимому, является следствием небольшой собственной анизотропии (двулучепреломления) кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$;

– наложение продольного магнитного поля на активную среду приводит к повороту направления поляризации излучения на угол, который может достигать 2° при $H = 0.08$ Т; наличие внутри резонатора линейного поляризатора (бростеровской пластинки) приводит в этом случае к изменению выходной интенсивности излучения лазера;

– при наложении переменного магнитного поля имеет место гармоническая модуляция интенсивности генерации, которая оказывается особенно сильной, если частота переменного поля совпадает с релаксационной частотой лазера $\omega_r = (\omega\eta/QT_1)^{1/2}$ (здесь ω – частота излучения лазера, Q – добротность резонатора);

– резонансная раскачка релаксационных частот (как было отмечено ранее в [6]) позволяет осуществлять точные измерения постоянной Верде и коэффициента двулучепреломления внутрирезонаторных элементов;

– измеренная нами постоянная Верде V для кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ оказалась равной 340 угл. мин/(см·Т), что хорошо согласуется с результатами работы [5] и значительно превышает постоянную Верде для $\text{Nd}^{3+}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, равную 80 угл. мин/(см·Т) [7];

– постоянная Верде кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ имеет сильную дисперсию вблизи линии поглощения ($\lambda = 0.81$ мкм), где она изменяется от 400 до 700 угл. мин/(см·Т) при изменении длины волны всего на 4 нм;

– двулучепреломление активного элемента оказалось

неравномерным в поперечном сечении и изменялось в пределах $10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$.

Таким образом, в лазере на магнитоактивном кристалле $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ может быть получена стабильная непрерывная генерация с $\lambda = 1.06425$ и 1.3418 мкм, а использование продольного магнитного поля позволяет управлять поляризационными и энергетическими характеристиками лазера. С помощью модуляционной методики возможно проведение точных измерений постоянной Верде и двулучепреломления оптических элементов, находящихся в резонаторе лазера.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 99-02-16054), программы «Фундаментальная метрология» и УНЦ «Лазерная физика и новые материалы». Авторы отмечают, что выполнению исследований существенным образом способствовала их кооперация в Объединенной открытой лаборатории «Лазерные кристаллы и прецизионные лазерные системы».

1. Kane T.J., Byer R.L. *Optics Letts*, **10**, 65 (1985).
2. Kane T.J., Nilsson A.C., Byer R.L. *Optics Letts*, **12**, 175 (1987).
3. Шабатько Н.М., Кравцов Н.В., Кравцов Н.Н. *Квантовая электроника*, **21**, 708 (1994).
4. Kaminskii A.A., Schultze D., Hermoneit B. et al. *Phys.Stat.Sol.(a)*, **33**, 737 (1976).
5. Zhou F.Z., Hu W.T., Li Z.S., Shen L.Q., Fen X.Q., Hu G.Q., Yin Z.W. *Appl.Optic*, **34**, 4266 (1995).
6. Галактионова Н.М., Мак А.А., Орлов О.А., Хюппенен А.П. *Письма в ЖЭТФ*, **18**, 507 (1973).
7. Наний О.Е., Шелаев А.Н. *Квантовая электроника*, **11**, 943 (1984).

A.A.Kaminskii, N.V.Kravtsov, N.I.Naumkin, S.N.Chekina, V.V.Firsov. Polarisation magneto-optical effects in a diode-pumped cw $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ laser oscillating at 1.06425 and 1.3418 μm .

The characteristics of a cw $\text{Nd}^{3+}:\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ laser oscillating at 1.06425 μm are studied as functions of the strength of a longitudinal magnetic field. The laser was found to be highly sensitive to the action of an alternating magnetic field with a frequency equal to the frequency of relaxation oscillations. The cw lasing was also obtained at 1.3418 μm .

В статье допущена опечатка – на стр.283, левая колонка, вторая строка снизу переход должен быть записан так:

$${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2} (\lambda = 1.3418 \text{ мкм})$$