

Ромбический кристалл $Gd_2(MoO_4)_3$ – – новый нелинейный лазерный материал для эффективной генерации второй гармоники

А.А.Каминский*, Г.Эйхлер***, С.Н.Багаев**, Д.Гребен***, Р.Макдональд***, А.В.Буташин*,
А.А.Павлюк****, Ф.А.Кузнецов****

Обнаружены новые нелинейные свойства ромбического кристалла $Gd_2(MoO_4)_3$. При 300 К получена эффективная (~30 %) внерезонаторная генерация второй гармоники при накачке мощными нано- и пикосекундными лазерами с $\lambda = 1.064$ мкм.

Ромбический молибдат гадолиния давно известен как сегнетоэлектрический и сегнетоупругий материал и достаточно широко используется в технике и физическом эксперименте. Он также является хорошей матрицей для трехвалентных ионов лантаноидов, в том числе генерирующих (Nd^{3+}) [1]. Характеристики импульсного стимулированного излучения кристаллов $Gd_2(MoO_4)_3Nd^{3+}$ впервые исследованы в работе [2], а в [3] на их основе созданы непрерывные и квазинепрерывные лазеры (канал генерации ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) с полупроводниковой лазерной накачкой. В работе [4] сообщается о том, что в неактивированных кристаллах $Gd_2(MoO_4)_3$ было возбуждено в видимом диапазоне длин волн коллинеарное многокаскадное (вплоть до 4-й стоксовой компоненты) ВКР и обнаружены другие проявления нелинейно-оптических взаимодействий, например «лазерная» радуга и самоканалирование – образование нитей самофокусировки, которые обычно наблюдаются при большой интенсивности накачки в кристаллах с высокой кубической нелинейной восприимчивостью $\chi^{(3)}$ (см., напр., [5]). В настоящей работе мы обнаружили, что ацентричные кристаллы $Gd_2(MoO_4)_3$ обладают значительной квадратичной нелинейной восприимчивостью $\chi^{(2)}$ и с высокой эффективностью преобразовывают излучение с $\lambda = 1.064$ мкм импульсных неодимовых лазеров во вторую гармонику.

В опытах по генерации второй гармоники (ГВГ) использовались кристаллы $Gd_2(MoO_4)_3$ и $Gd_2(MoO_4)_3:Nd^{3+}$, выращенные традиционным (из стехиометрического расплава) и модифицированным (низкоградиентным, из раствора в расплаве) методами Чохральского из Рт-тиглей. Последний способ обеспечивал как большие размеры кристаллов, так и их существенно лучшее оптическое качество. Исследуемые образцы представляли собой ориентированные параллелепипеды и пластины различной толщины с «рабочим» сечением в несколько квадратных сантиметров. Измерения проводились на длине волны излучения импульсно-периодических $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ -лазеров, один из которых – наносекундный лазер

ЛТИПЧ-7 с головкой ИЗ-25, а другой – лазер с двумя усилительными каскадами [6].

Использованные лазеры обеспечивали получение импульсов с длительностью ~20 нс и ~120 пс и энергией ~2 и ~10 мДж соответственно. Так, в однопроходной схеме с неактивированными кристаллами $Gd_2(MoO_4)_3$ во всех режимах измерения ГВГ при 300 К, в том числе и в нефокусированных пучках, было зарегистрировано эффективное преобразование одномикронного излучения в гармонику ($\lambda_h = 0.53207$ мкм). В частности, в далеко не оптимальных условиях опытов с пикосекундными импульсами с энергией, близкой к максимальной, в сфокусированном пучке (линза с $F = 500$ мм, диаметр перетяжки около 75 мкм) для образца $Gd_2(MoO_4)_3$ толщиной 8 мм была получена эффективность ГВГ около 30%. Проведенные эксперименты позволили определить угол синхронизма $\theta_m = 75 \pm 5^\circ$. Большой разброс θ_m связан со специфической кристаллооптикой ромбического $Gd_2(MoO_4)_3$. Измерения, проведенные с $Gd_2(MoO_4)_3:Nd^{3+}$, показали, что поглощение активаторных ионов на длине волны гармоники (в спектральной области абсорбционного канала ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4G_{7/2}$) существенно уменьшает эффективность ГВГ, что указывает на возможность создания на основе этих кристаллов эффективных лазеров с самоумножением частоты генерации.

Ацентричные кристаллы $Gd_2(MoO_4)_3$ ниже температуры Кюри ($T_C \approx 159^\circ C$) имеют ромбическую структуру (пространственная группа $C_{2v}^8 - Pba2$, сегнетоэлектрическая β' -фаза), а выше T_C становятся тетрагональными ($D_{2d}^3 - P4_21m$, параэлектрическая β -фаза). Они прозрачны от ~0.3 до ~6 мкм, а их фоннный спектр (по данным комбинационного рассеяния) простирается до ~970 cm^{-1} . Ниже T_C эти кристаллы являются оптически положительными и двуосными (угол осей $2V \approx 10^\circ$ при 300 К) [1, 2, 4]. Возможно выращивание кристаллов $Gd_2(MoO_4)_3$ крупных размеров с высокой концентрацией ионов Nd^{3+} .

Анализ показал, что в кристалле $Gd_2(MoO_4)_3$ может иметь место фазовый синхронизм первого типа ГВГ излучения $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ -лазеров с $\lambda = 1.064$ мкм, который должен осуществляться под углом $\theta_m \approx 74^\circ$ к его оси с. По известному тензору d_{ij} и соответствующему соотношению для двуосных ромбических кристаллов [7] мы рассчитали эффективный коэффициент оптической нелинейности: $d_{ef} \approx 1.4 \cdot 10^{-12}$ м/В в направлении синхронизма. По этому параметру кристалл $Gd_2(MoO_4)_3$ значительно превосходит известные крупноапертурные нелинейные

*Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Москва

**Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск

***Оптический институт технического университета, Берлин

****Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск

кристаллы KDP и DKDP и сопоставим с другим используемым в квантовой электронике нелинейным лазерным кристаллом $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ [8], который также может быть выращен с большой концентрацией ионов Nd^{3+} , но размеры которого ограничены технологией изготовления.

Таким образом, открыт и изучен новый нелинейный лазерный кристалл $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ для эффективной ГВГ. Полученные результаты позволяют надеяться на то, что на основе ацентричного ромбического молибдата гадолиния могут быть созданы крупноапертурные (до сотен квадратных сантиметров) нелинейные преобразователи одномикронного ИК лазерного излучения ($\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$), а также лазеры с самоумножением частоты генерации ($\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3:\text{Nd}^{3+}$), в том числе и с полупроводниковой лазерной накачкой.

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, а также государственных программ «Фундаментальная метрология» и «Оптика. Лазерная физика». Все авторы также отмечают, что проведению исследований существенно способствовала их совместная кооперация в Объединенной открытой лаборатории «Лазерные кри-

сталлы и прецизионные лазерные системы».

1. Borchardt H.J., Bierstedt P.E. *Appl. Phys. Letts*, **8**, 50 (1966).
2. Багдасаров Х.С., Каминский А.А., Богомолова Г.А., Прохоров А.М., Прохорцева Т.М. *ДАН СССР*, **197**, 557 (1971).
3. Kaminskii A.A. *Phys. Stat. Sol. A*, **149**, K39 (1995).
4. Kaminskii A.A., Eichler H.J., Grebe D., Macdonald R., Bagayev S.N., Kuznetsov F.A., Pavlyuk A.A. *Phys. Stat. Sol. A* (1996) (в печати).
5. Kaminskii A.A., Nishioka H., Kubota K., Takuma H., Bagayev S.N., Pavlyuk A.A. *Phys. Stat. Sol. A*, **148**, 619 (1995).
6. Eichler H.J., Liu B. *Opt. Mater.*, **1**, 21 (1992).
7. M.J.Weber (ed.). *Handbook of laser science and technology* (Boca Raton, CRC Press, vol.III, 1986).
8. Kaminskii A.A. *Crystalline lasers: physical processes and operating schemes* (Boca Raton, Ann Arbor, Boston, CRC Press, 1996).

А.А.Каминский, Г.Эйхлер, С.Н.Багаев, Д.Гребе, Р.Макдональд, А.В.Буташин, А.А.Павлюк, Ф.А.Кознетсов. Орторомбический $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ кристалл как новый нелинейный лазерный материал для эффективной генерации второго гармоника.

New nonlinear properties of orthorhombic $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ crystals were discovered. At 300 K it was possible to achieve efficient (~30 %) extracavity second-harmonic generation by pumping with high-power nanosecond and picosecond laser pulses at $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$.