

РОС-лазер на красителях со стабильной длиной волны излучения, возбуждаемый субнаносекундным твердотельным Nd:YAG микролазером с диодной накачкой

В. М. Катаркевич

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: katarkevich@dragon.bas-net.by

Сообщается о реализации компактного, эффективного ($\eta_E \sim 35\%$) и высокостабильного ($\varepsilon_E = 0,7 \div 2\%$) источника субнаносекундных ($\tau_{0,5} = 0,2 \div 0,4$ нс) и одиночных пикосекундных ($\tau_{0,5} = 40 \div 60$ пс) импульсов излучения, генерируемого на заранее заданных фиксированных длинах волн, на основе лазера на красителях со светоиндуцированной распределенной обратной связью (РОС), возбуждаемого излучением 2-й гармоники ($\lambda_n = 532$ нм) субнаносекундного ($\tau_{0,5} \approx 0,5$ нс) твердотельного Nd:YAG микролазера с диодной накачкой.

Ключевые слова: лазеры на красителях, распределенная обратная связь, твердотельные микролазеры с диодной накачкой, субнаносекундные и пикосекундные импульсы.

A wavelength-stable DFB dye laser excited by subnanosecond diode-pumped solid-state Nd:YAG microlaser

V. M. Katarkevich

B. I. Stepanov Institute of Physics of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: katarkevich@dragon.bas-net.by

The paper reports on the implementation of a compact, efficient ($\eta_E \sim 35\%$) and highly stable ($\varepsilon_E = 0,7 \div 2\%$) source of subnanosecond ($\tau_{0,5} = 0,2 \div 0,4$ ns) and single picosecond ($\tau_{0,5} = 40 \div 60$ ps) radiation pulses generated at predetermined fixed wavelengths, based on a dye laser with light-induced distributed feedback (DFB) excited by the 2nd harmonic radiation ($\lambda_p = 532$ nm) of a subnanosecond ($\tau_{0,5} \approx 0,5$ ns) diode-pumped solid-state Nd:YAG microlaser.

Keywords: dye lasers, distributed feedback, diode-pumped solid-state microlasers, subnanosecond and picosecond pulses.

Введение

Лазеры на красителях со светоиндуцированной распределенной обратной связью (РОС) являются простыми и удобными источниками перестраиваемого по спектру узкополосного когерентного излучения как наносекундной, так и субнано-/пикосекундной длительности. В качестве источников возбуждения РОС-лазеров широкое применение нашли частотные твердотельные Nd:YAG-лазеры (2-я и 3-я гармоники), обеспечивающие получение эффективной генерации красителей во всей видимой области спектра. Значительные успехи, достигнутые в последние годы в разработке субнаносекундных твердотельных микролазеров с диодной накачкой, сделали их весьма подходящими источниками возбуждения РОС-лазеров на красителях. Это позволяет создавать компактные, высокостабильные и надежные

лазерные системы, обеспечивающие получение эффективной генерации перестраиваемых по спектру субнаносекундных и пикосекундных импульсов [1–3].

В большинстве опубликованных работ, посвященных лазерам на красителях со светоиндуцированной РОС, использовались различные варианты схемы излучателя, приведенной на рис. 1, *а*. При использовании такой схемы раствор красителя находится в непосредственном контакте с призмой из стекла, а длина волны генерации РОС-лазера λ_e определяется выражением:

$$\lambda_e = \frac{n_p \lambda_n}{n_{np} \sin \theta}, \quad (1)$$

где n_p и n_{np} – показатели преломления раствора красителя на длине волны генерации λ_e и материала призмы на длине волны накачки λ_n , соответственно, а θ – угол падения пучка накачки на границу раздела призма-раствор красителя. В этом случае оперативная перестройка длины волны легко достигается путем простого изменения угла θ , который в свою очередь зависит от угла падения i пучка накачки на боковую грань призмы. Вместе с тем для целого ряда практических применений требуются лазерные источники излучения, обеспечивающие получение генерации на строго определенных длинах волн и отличающиеся хорошей воспроизводимостью параметров. Использование РОС-лазеров на красителях в значительной степени позволяет решить эту задачу.

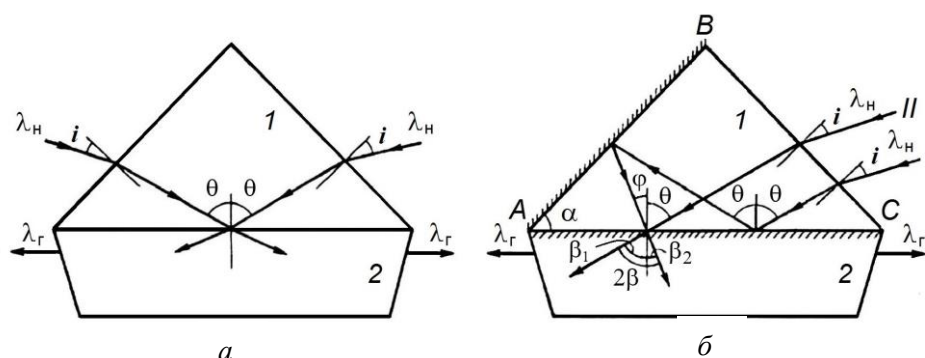


Рис. 1. Схемы излучателей РОС-лазеров на красителях:
а – традиционного типа; *б* – со стабильной длиной волны излучения.
 1 – стеклянная призма; 2 – активная среда

Зависимость длины волны генерации от угла падения i можно практически исключить при использовании излучателя РОС-лазера на красителях, оптическая схема которого приведена на рис. 1, *б* [4]. Устройство состоит из треугольной призмы из стекла 1 и кюветы с раствором красителя 2. Боковая поверхность призмы *AB* имеет зеркальное покрытие с коэффициентом отражения $R \sim 100\%$ на длине волны накачки. На грань призмы *AC* наносится частично отражающее покрытие. В таком устройстве при $n_p = n_{np}$ независимо от величины угла падения i угол схождения $\varphi + \theta$ интерферирующих пучков накачки *I* и *II* всегда равен 2α , где α – угол призмы, прилегающий к боковой грани, контактирующей с раствором красителя. В этом случае при изменении угла i генерация должна возбуждаться на одной и той же длине волны, определяемой выражением:

$$\lambda_z = \frac{\lambda_n}{\sin \beta}, \quad (2)$$

где 2β – угол интерференции пучков накачки в активной среде. Следует однако отметить, что при $n_p \neq n_{np}$, в отличие от угла $\varphi + \theta$, величина угла $\beta_1 + \beta_2$ не является постоянной и зависит от наклона биссектрисы угла $\beta_1 + \beta_2$ по отношению к поверхности раздела призма-раствор. Вследствие этого период светоиндуцированной решетки, а, следовательно, и длина волны генерации несколько изменяются с изменением угла i , что ухудшает ее стабильность. Тем не менее, как будет показано ниже, и в этом случае угловая стабильность длины волны генерации существенно выше, чем при использовании РОС-лазера традиционного типа (рис. 1, а).

Целью настоящей работы было получение и исследование генерации в РОС-лазере на красителях со стабильной длиной волны излучения при его возбуждении 2-й гармоникой ($\lambda_n = 532$ нм) субнаносекундного твердотельного Nd:YAG микролазера с диодной накачкой.

1. Условия эксперимента

В данной работе излучатель РОС-лазера со стабильной длиной волны излучения представлял собой прямоугольную равнобедренную призму-кувету из стекла К-8 ($n_{np} \approx 1,52$), на одну из катетных граней которой нанесено диэлектрическое отражающее покрытие с коэффициентом отражения $R \sim 100\%$ на длине волны $\lambda_n = 532$ нм. Так как в качестве растворителя красителей использовался этанол ($n_p \approx 1,36$), то устройство обеспечивало получение генерации на длине волны $\lambda_z \approx 673$ нм (1). В отличие от [4] (рис. 2, б), на гипотенузную грань призмы AC частично отражающее покрытие не наносилось, а его роль успешно выполняло френелевское отражение излучения на границе раздела призма-раствор ($R_\phi \sim 1,6\%$). Активной средой РОС-лазера служил этанольный раствор пиридина 1 ($C_{кр} \sim 1,8$ ммоль/л), при использовании традиционной схемы (рис. 1, а) обеспечивавший перестройку λ_z в области $\sim 630 \div 733$ нм. Возбуждение генерации осуществлялось излучением 2-й гармоники ($\lambda_n = 532$ нм, $\Delta\lambda_{0.5} < 0,003$ нм; $E_n \leq 130$ мкДж) субнаносекундного ($\tau_{0.5} \approx 0,5$ нс) твердотельного Nd:YAG микролазера с диодной накачкой *STA-03SH-8-OEM* (*Standa Ltd.*, Литва), работающего с частотой следования импульсов f до 1 кГц. В условиях нашего эксперимента энергия возбуждения РОС-лазера не превышала значения $E_n = 46$ мкДж. Длина формируемой в растворе красителя РОС-структуры $L_{РОС}$ составляла ~ 6 мм при ее высоте $d = 0,1 \div 0,15$ мм. В субнаносекундном режиме работы РОС-лазера, с целью повышения КПД и осуществления однонаправленного вывода излучения генерации из устройства, на пути одного из выходящих из кюветы пучков устанавливалось алюминиевое зеркало, возвращавшее его обратно в активную среду.

Исследование генерационных характеристик РОС-лазера осуществлялось на экспериментальной установке, аналогичной использованной в [2, 3]. Энергетические характеристики излучений накачки и генерации измерялись фотодиодами ФД-24К с двухканальным аналого-цифровым преобразователем ADC20M/10-2. Временные характеристики исследовались с помощью высокоскоростной электронно-

оптической камеры с линейной разверткой «Агат СФ-3» (разрешение до ~ 2 пс). Спектр излучения контролировался двухканальным дифракционным спектрометром S150 DUO (ООО «СОЛ инструментс») (разрешение $\sim 2,4 \times 10^4$ в режиме Эшелле) и интерферометром Фабри-Перо.

2. Результаты исследований

Результаты расчетов и измерений зависимости длины волны генерации λ_g от угла падения пучка накачки i для РОС-лазеров двух типов (рис. 1) представлены на рис. 2. Из рис. 2 следует, что, например, при отклонении пучка накачки на угол $i = 5'$ от нормального ($i = 0$) положения сдвиг длины волны генерации $\Delta\lambda_g$ для РОС-лазера традиционного типа составляет 0,65 нм, в то время как для РОС-лазера со стабильной длиной волны - всего 0,00021 нм. Это на два порядка меньше типичного значения ширины линии излучения РОС-лазера на красителях, составляющего сотые доли нанометра

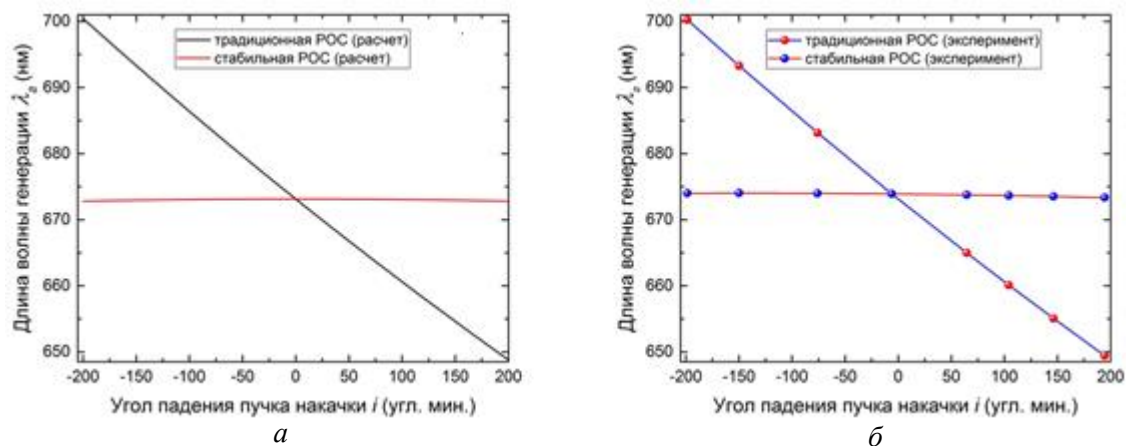


Рис. 2. Зависимость длины волны генерации РОС-лазеров от угла падения пучка накачки i на боковую грань призмы:

a – лазер традиционного типа; b – лазер со стабильной длиной волны излучения

Исследования временных характеристик излучения РОС-лазера показали, что при значительном уровне накачки $\gamma = E_n/E_{пор.}$ (где E_n – энергия накачки, а $E_{пор.}$ – пороговое значение энергии возбуждения) в нем генерируются субнаносекундные импульсы ($\tau_{0.5} \sim 0,2 \div 0,4$ нс) с временной субструктурой (рис. 3, a), в то время как при небольшом превышении порога ($1 < \gamma < 1,25$) – одиночные пикосекундные импульсы ($\tau_{0.5} \sim 40 \div 60$ пс). В последнем случае наиболее короткие импульсы наблюдались при уровне накачки $\gamma = 1,25$, соответствующем порогу появления второго пикосекундного импульса в выходном излучении РОС-лазера

Результаты измерений зависимости энергии генерации РОС-лазера от энергии накачки приведены на рис. 3, b . Из данного рисунка видно, что при максимальной энергии возбуждения $E_n \sim 46$ мкДж ($\gamma \sim 10$) и использовании внешнего зеркала энергия излучения РОС-лазера достигает $E_g \sim 16$ мкДж. Это соответствует КПД генерации $\eta_E \sim 35$ % и мощности субнаносекундных импульсов $P_g \sim 48$ кВт. Что касается энергии и мощности получаемых вблизи

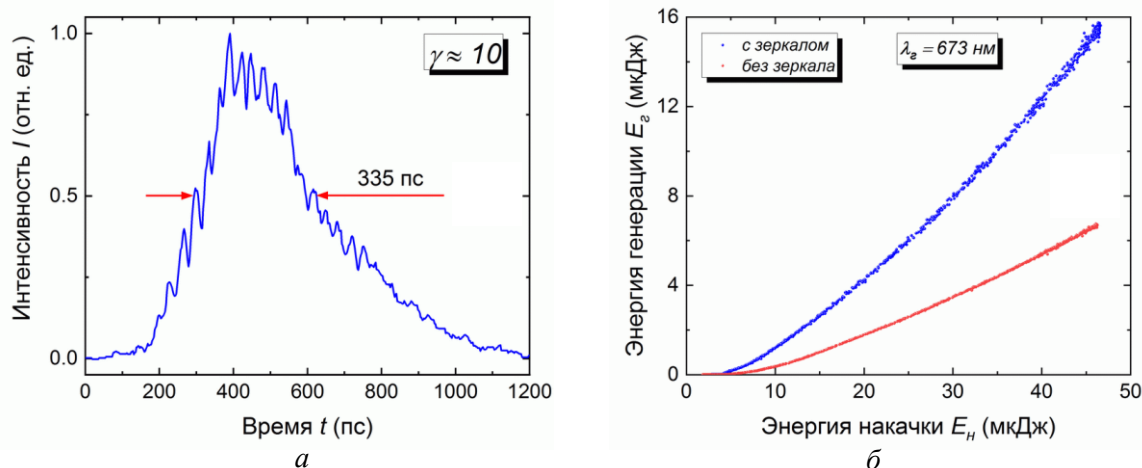


Рис. 3. Временной профиль интенсивности субнаносекундного импульса излучения РОС-лазера (а) и зависимость энергии генерации РОС-лазера от энергии накачки (б)

порога одиночных пикосекундных импульсов, то при максимально допустимом уровне накачки ($\gamma \sim 1,25$) их значения составили $E_g \sim 50$ нДж и $P_g \sim 1,3$ кВт, соответственно. При стабильности энергии импульсов возбуждения $\epsilon_n \sim 0,4\%$ энергетическая стабильность субнаносекундных и пикосекундных импульсов РОС-лазера ϵ_g находилась в пределах $\sim 0,7 \div 2 \%$. В зависимости от степени превышения порога γ , ширина спектра излучения РОС-лазера составляла $\Delta\lambda_{0,5} = 0,009 \div 0,013$ нм. При этом генерируемые им одиночные пикосекундные импульсы были спектрально-ограниченными ($\Delta\nu_{0,5} \times \tau_{0,5} \sim 0,3$). РОС-лазер устойчиво работал с частотой следования импульсов f до нескольких сотен Гц без прокачки раствора красителя через кювету.

Таким образом, на основе РОС-лазера на красителях, возбуждаемого субнаносекундным твердотельным Nd:YAG микролазером с диодной накачкой, реализован компактный, эффективный и высокостабильный источник субнаносекундных и одиночных пикосекундных импульсов излучения, генерируемого на заранее заданных фиксированных длинах волн. Благодаря своей простоте, надежности и высоким выходным характеристикам, подобные лазерные устройства могут найти применение в качестве высокоинтенсивных спектральных реперов, а также для возбуждения и зондирования объектов на заданных фиксированных частотах.

Библиографические ссылки

1. Picosecond distributed feedback dye laser excited with diode-pumped solid-state micro laser / Efendiev T. Sh. [et al.] // Azerb. J. Phys. Fizika. 2011. Vol.17, No. 2. P. 7–10.
2. Highly efficient solid-state distributed feedback dye laser based on polymer-filled nanoporous glass composite excited by a diode-pumped solid-state Nd:LSB microlaser / V. M. Katarkevich [et al.] // Appl. Opt. 2015. V. 54, No. 26. P. 7962–7972.
3. Novitsky D. V. Dynamics of DFB dye lasing by polarization modulation: simulations and experiment / D. V. Novitsky, V. M. Katarkevich, T. Sh. Efendiev // Laser Physics Letters. 2015. Vol. 13, No. 2. P. 025002.
4. Рубинов А. Н., Эфендиев Т. Ш. РОС-лазер на красителях со стабильной длиной волны излучения // Доклады АН БССР. 1996. Т. 40, № 4. С. 45–48.