

**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](mailto:katarkevich@dragon.bas-net.by)*

Сообщается о реализации компактного, эффективного ( $\eta_E \sim 35\%$ ) и высокостабильного ( $\varepsilon_I = 0,7 \div 2\%$ ) 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](mailto:katarkevich@dragon.bas-net.by)*

The paper reports on the implementation of a compact, efficient ( $\eta_E \sim 35\%$ ) and highly stable ( $\varepsilon_I = 0,7 \div 2\%$ ) 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, *a*. При использовании такой схемы раствор красителя находится в непосредственном контакте с призмой из стекла, а длина волны генерации РОС-лазера  $\lambda_e$  определяется выражением:

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

где  $n_p$  и  $n_{np}$  – показатели преломления раствора красителя на длине волны генерации  $\lambda_e$  и материала призмы на длине волны накачки  $\lambda_h$ , соответственно, а  $\theta$  – угол падения пучка накачки на границу раздела призма-раствор красителя. В этом случае оперативная перестройка длины волны легко достигается путем простого изменения угла  $\theta$ , 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.

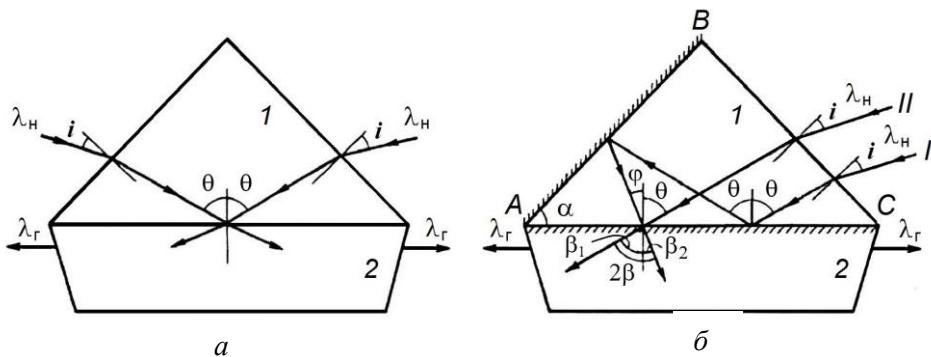


Рис. 1. Схемы излучателей РОС-лазеров на красителях:  
*а* – традиционного типа; *б* – со стабильной длиной волны излучения.  
1 – стеклянная призма; 2 – активная среда

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  $2\alpha$ , где  $\alpha$  – 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:

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

где  $2\beta$  – 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, *a*).

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  $\lambda_e \approx 673$  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 ( $C_{kp} \sim 1,8$  ммоль/л), при использовании традиционной схемы (рис. 1, *a*) обеспечивавший перестройку  $\lambda_e$  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  $L_{ROS}$  составляла  $\sim 6$  мм при ее высоте  $d = 0,1 \div 0,15$  мм. В субнаносекундном режиме работы РОС-лазера, с целью повышения КПД и осуществления одностороннего 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  $\sim 2$  пс). Спектр излучения контролировался двухканальным дифракционным спектрометром S150 DUO (ООО «СОЛ инструментс») (разрешение  $\sim 2,4 \times 10^4$  в режиме Эшлле) и интерферометром Фабри-Перо.

## 2. Результаты исследований

Результаты расчетов и измерений зависимости длины волны генерации  $\lambda_e$  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  $\Delta\lambda_e$  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

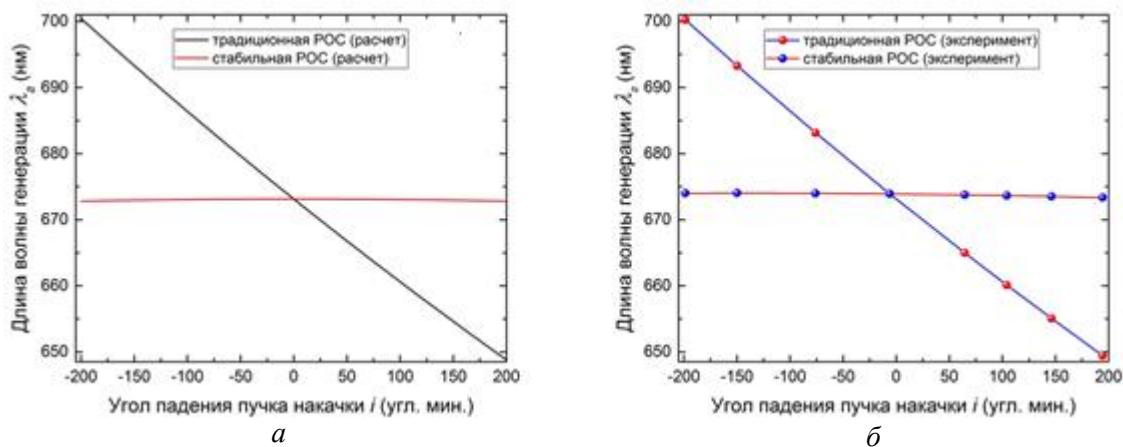


Рис. 2. Зависимость длины волны генерации РОС-лазеров от угла падения пучка накачки  $i$  на боковую грань призмы:  
а – лазер традиционного типа; б – лазер со стабильной длиной волны излучения

Исследования временных характеристик излучения РОС-лазера показали, что при значительном уровне накачки  $\gamma = E_n/E_{nор}$  (где  $E_n$  – энергия накачки, а  $E_{nор}$  – пороговое значение энергии возбуждения) в нем генерируются субнаносекундные импульсы ( $\tau_{0.5} \sim 0,2 \div 0,4$  нс) с временной субструктурой (рис. 3, а), 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, б. 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  $E_e \sim 16$  мкДж. Это соответствует КПД генерации  $\eta_E \sim 35\%$  и мощности субнаносекундных импульсов  $P_e \sim 48$  кВт. Что касается энергии и мощности получаемых вблизи

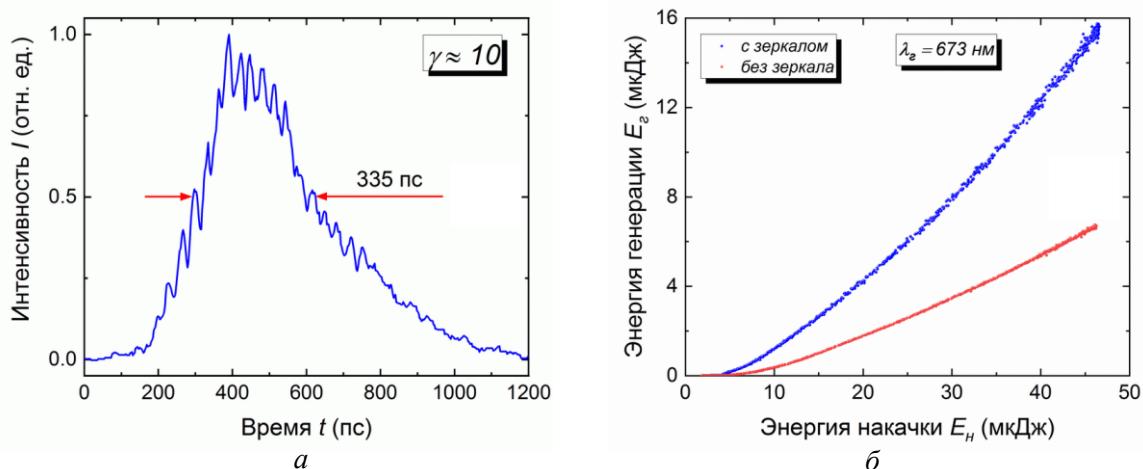


Рис. 3. Временной профиль интенсивности субнаносекундного импульса излучения РОС-лазера (а) и зависимость энергии генерации РОС-лазера от энергии накачки (б)

порога одиночных пикосекундных импульсов, то при максимально допустимом уровне накачки ( $\gamma \sim 1,25$ ) их значения составили  $E_e \sim 50$  нДж и  $P_e \sim 1,3$  кВт, соответственно. При стабильности энергии импульсов возбуждения  $\varepsilon_h \sim 0,4\%$  энергетическая стабильность субнаносекундных и пикосекундных импульсов РОС-лазера  $\varepsilon_e$  находилась в пределах  $\sim 0,7 \div 2\%$ . В зависимости от степени превышения порога  $\gamma$ , 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 рефлексов, 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.