

ON THE APPLICABILITY OF LINEAR APPROXIMATION TO PLASMA ELECTRONS IN THE BEAM-PLASMA INTERACTION THEORY

N. I. KARBUSHEV, E. V. ROSTOMYAN

It is shown, that the linear approximation to the motion of plasma electrons often used in beam-plasma interaction theory, may be inapplicable when the beam current exceeds the limiting current in a vacuum waveguide. New, more stringent conditions for the applicability of linear approximation to plasma electrons are obtained.

УДК 621.373.826

Изв. АН Армении, Физика, т. 26, вып. 1, 27—32 (1991)

ПИКОСЕКУНДНЫЙ РОС ЛАЗЕР С ШИРОКОЙ ОБЛАСТЬЮ ПЕРЕСТРОЙКИ

А. А. ЛАЛАЯН, С. М. САРКИСЯН, Т. А. ПАПАЗЯН

НПО «Лазерная техника» ЕГУ

(Поступила в редакцию 3 марта 1990 г.)

Разработана и исследована новая и простая схема спектральной перестройки лазера на красителе с распределенной обратной связью, которая обеспечивает бесфоновую генерацию в спектральной области ~ 900 А без промежуточной подтюстировки. Исследовано влияние временных и энергетических параметров излучения накачки, а также концентрации красителя на спектральные и энергетические характеристики выходного излучения лазера на красителе.

Перестраиваемые по частоте ультракороткие импульсы света (УКИ) широко применяются и находят все новые области применения при решении исследовательских задач в различных отраслях нелинейной оптики, лазерной спектроскопии, биологии, химии, медицины и т. д.

Одним из наиболее удобных источников перестраиваемых УКИ является РОС лазер, отличающийся простотой осуществления перестройки, спектрально узкой линией излучения, получаемой без применения селективных элементов, компактностью, возможностью генерирования одиночных УКИ даже при накачке импульсами значительно большей длительности [1].

В традиционных схемах с РОС существует определенная проблема обеспечения большого спектрального диапазона перестройки длины волны генерации. Задача заключается в том, что изменение длины волны, то есть изменение угла схождения двух пучков накачки в активной среде достигается посредством изменения позиции, либо одновременно двух связанных зеркал (призм), либо одного перестроенного зеркала (призмы) [1, 2]. Однако создание перестраиваемых, пикосекундных источников по таким схемам в аспекте широкого практического применения, наталкивается на определенные трудности, особенно при внедрении системы автоматического управления. А именно, в ходе осуществления перестройки частоты генерации между плоскостью пересечения пучков накачки и поверхностью активной среды возникает значительный сдвиг, что ведет

к быстрому «смазыванию», а затем и к полному распаду наведенной в активной среде динамической решетки. Возникновение пространственного сдвига приводит к необходимости промежуточной подъюстировки системы, что и вносит очевидные неудобства при эксплуатации подобных схем в практике. В связи с вышеизложенным, рядом исследовательских групп были предприняты попытки оптимизации традиционной схемы с РОС [2]. Однако к настоящему времени, наилучший реально полученный диапазон непрерывной перестройки составляет $\approx 350 \text{ \AA}$ [3]. Отметим здесь, что пикосекундный режим работы РОС генератора требует уменьшения длины зоны возбуждения l , которая является определяющим фактором, влияющим на длительность генерационного импульса $\sim \frac{ln}{c}$.

При пикосекундной накачке также становится существенной эффективная длина динамической решетки. Суммарно, влияние этих двух факторов ограничивает длину динамической решетки до значений $l \approx 1-2 \text{ мм}$, что делает схему с РОС более чувствительной к наличию пространственного сдвига пучков накачки. В данной работе нами предлагается новая схема (рис. 1а) РОС лазера, в которой легко реализуется значительное

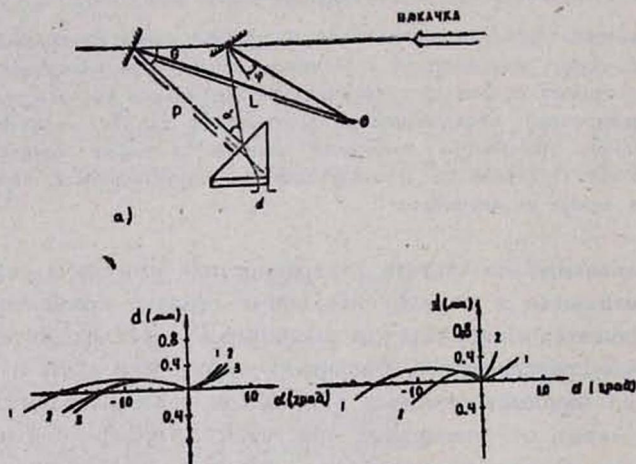


Рис. 1. а) Оптическая схема нового РОС лазера. Здесь L —длина телескопического рычага, P —расстояние от перестроечного зеркала до входной поверхности призмы, φ —угол между осью телескопического рычага и нормалью к поверхности перестроечного зеркала, α —угол падения пучка накачки на входную поверхность призмы. б, в) Расчетные кривые, показывающие зависимость величины пространственного сдвига d от изменения угла α (при использовании этанольного раствора красителя и призмы с показателем преломления $n=1,75$ угловой диапазон от $+6^\circ$ до -10° соответствует спектральному диапазону 1500 $\text{\AA}$). Кривые 1, 2, 3 (б) рассчитаны соответственно для случаев $P=40 \text{ мм}$, $\theta=40^\circ$, $L=48 \text{ мм}$; $P=700 \text{ мм}$, $\theta=40^\circ$, $L=50 \text{ мм}$; $P=40 \text{ мм}$, $\theta=70^\circ$, $L=54 \text{ мм}$, здесь во всех случаях $\varphi=0^\circ$. Кривые 1, 2 (в) рассчитаны соответственно для случаев $\varphi=0^\circ$, $\theta=45^\circ$, $P=40 \text{ мм}$, $L=53 \text{ мм}$ и $\varphi=10^\circ$, $\theta=45^\circ$, $P=40 \text{ мм}$, $L=33 \text{ мм}$.

увеличение спектрального диапазона непрерывной перестройки. На рисунке перестроечное зеркало РОС лазера с помощью телескопического рычага связано с точкой O и при этом имеет возможность перемещения вдоль оптической оси пучка накачки, что обеспечивает синхрон-

ное вращение перестроечного зеркала вокруг собственной оси и приводит к изменению угла падения пучков накачки на РОС кювету с призмным вводом излучения. Величина пространственного сдвига d пучка накачки от вершины вводной призмы, определяющая качество наведенной динамической решетки, определяется выражением:

$$d = \frac{\sqrt{2} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \sin \alpha} \left[\frac{H \sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} - \left(\frac{L \sin (\theta - \alpha)}{2 \cos (\alpha/2) \sin (\theta/2 - \alpha/2 - \varphi)} - P \right) \operatorname{tg} \alpha \right].$$

Здесь n — показатель преломления материала призмы, α — угол падения излучения накачки на призму, H — высота призмы, величины L , P и θ параметры, задаваемые при $\alpha = 0$.

На рис. 16, в представлены зависимости d от α при разных значениях параметров L , P , θ . Как видно из рисунка, для каждого фиксированного значения пары величин P и θ можно подобрать соответствующее L , обеспечивающее наибольший диапазон перестройки. Заметим, что уменьшение величины угла θ и абсолютных значений параметров P и L приводит к достижению спектрального диапазона неостор... ~ 1500 Å, внутри которого величина сдвига d не превышает допустимой малой величины 0,2 мм. В экспериментальном устройстве с новой схемой перестройки излучения РОС лазера в качестве накачки использовалось излучение второй гармоники пикосекундного АИГ: Nd лазера ЛП-2 [4] с пассивной модуляцией добротности, синхронизацией мод и электрооптическим выделением одиночного импульса. Длительность импульса второй гармоники составляла ~ 30 пс, максимальная энергия импульса — 25 мДж. Часть излучения (8%) использовалась для накачки РОС генератора, оставшаяся часть — для накачки усилителей. В качестве делителя излучения накачки применена призма Довэ с нанесенным на входной торец полупрозрачным зеркалом. Использование такого делителя одновременно с РОС-кюветой с призмным вводом излучения гарантирует необходимую пространственную и временную когерентность пучков накачки. В качестве активной среды использовались этанольные растворы красителей родамин 6Ж и 6-аминофеноленона, перекрывающих спектральную область 560—650 нм. В РОС генераторе был реализован режим накачки, значительно превышающий пороговой, что обеспечивает на выходе сравнительно высокоэнергетичное излучение пикосекундной длительности. Генерационное излучение далее усиливалось в усилителе с квазипродольной накачкой и регистрировалось фотодиодами на выходе спектрографа ДФС-8-2.

Одним из существенных факторов, влияющих на эффективность генерации и спектральные характеристики перестраиваемого излучения, является соотношение энергии лазерной генерации к энергии усиленного спонтанного излучения (УСИ). Помимо других механизмов, влияющих на уровень УСИ (например, когерентность и расходимость пучков накачки), весьма существенно влияние видности динамической решетки, которая, в свою очередь, существенно зависит от наличия пространственного сдвига между пучками.

На рис. 2 представлены энергии генерационного и усиленного спонтанного излучения при перестройке длины волны генерации в предла-

гаемой нами схеме. Как видно, уровень фона остается практически постоянным во всем диапазоне непрерывной перестройки, что свидетельствует о пренебрежимо малом значении пространственного сдвига.

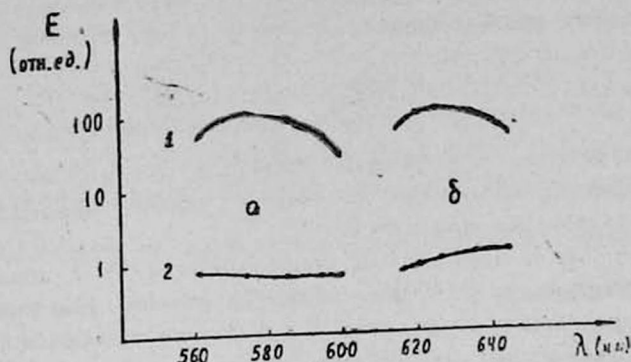


Рис. 2. Зависимости энергий генерации (1) и УСИ (2) для а) этанольного раствора красителя родамин 6Ж и б) этанольного раствора красителя 6-аминофенолена.

Таким образом, непрерывная перестройка длины волны излучения здесь впервые достигнута в диапазоне 900 Å (в области люминесценции двух различных красителей) и отметим, что при этом не наблюдалось резкого увеличения уровня УСИ на краях диапазона перестройки.

Для определения оптимального режима работы РОС генератора, было проведено исследование влияния параметров накачки и концентрации красителя на генерационные характеристики излучения. Представленные на рис. 3 графики демонстрируют зависимость эффективности преобразования энергии накачки от концентрации при близопороговом и многократно превышающем порог генерации режимах накачки. Здесь близопороговому режиму работы соответствует резкая концентрационная

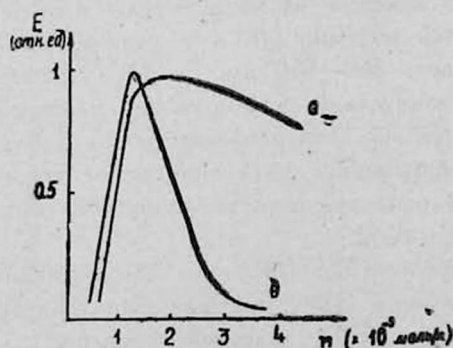


Рис. 3. Зависимости энергии генерации от концентрации красителя родамин 6Ж а) энергия накачки $E_H = 1,5$ мДж, б) энергия накачки $E_H = 0,6$ мДж.

зависимость эффективности преобразования. А в режиме работы, многократно превышающем порог, наблюдается более слабая зависимость от дальнейшего, после оптимального, увеличения концентрации красителя,

что связано с глубоким насыщением поглощения. Кроме того, изменение концентрации красителя в генераторе воздействует на спектральные характеристики генератора. На рис. 4а, б представлены перестроечные кривые при различных уровнях энергии накачки и различных концентрациях красителя. Как видно из рисунка, увеличение концентрации ведет к смещению всей спектральной области генерации в длинноволновую часть спектра, что соответствует хорошо известному смещению полосы люминесценции органических красителей, однако, наряду с этим, при высоких концентрациях появляется заметная асимметрия формы перестроечной кривой и смещение спектрального максимума внутри перестроечной области также в сторону длинных волн.

Как видно из перестроечных кривых 4а, б, высокие уровни энергии накачки приводят к ослаблению зависимости выходной энергии от изменения концентрации красителя в генераторе и перестройки длины волны. Отметим, что при уровне накачки—1 мДж генератор входит в режим насыщения (рис. 4в) по энергии накачки. Уровень энергии накачки су-

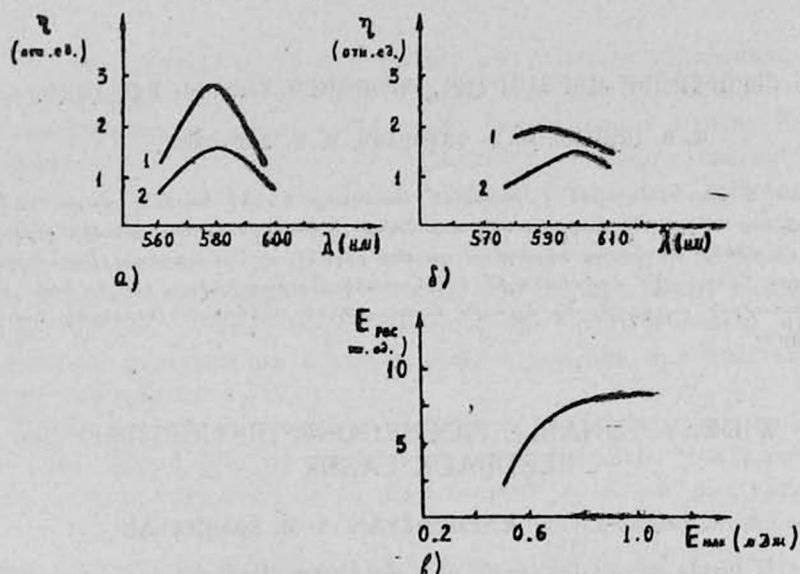


Рис. 4. Зависимости эффективности генерации при концентрации красителя родамин 6Ж а) $p = 1,1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, б) $p = 2,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л при энергии накачки $E_n = 0,6$ мДж, кривая 1 и $E_n = 1,5$ мДж кривая 2; зависимость энергии генерации от энергии накачки (в) при концентрации красителя родамин 6Ж $p = 2,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л и $\lambda_r = 600$ нм.

щественно влияет на величину флуктуаций энергии генерации. При концентрации красителя $p = 1,1 \cdot 10^{-3}$ моль/л среднее квадратичное отклонение энергии генерации в центре спектральной полосы генерации для красителя родамин 6Ж ($\lambda = 578$ нм) с увеличением энергии накачки от 0,7 мДж до 1,5 мДж уменьшается на 14%, а на краю полосы генерации уменьшается на 50%.

Исследования показали, что разброс выходной энергии зависит также от стабильности длительности импульса накачки. Изменение длительности импульса накачки в диапазоне 25—50 пс ведет к изменению

эффективности преобразования энергии, при этом большим длительностям накачки соответствует большая эффективность преобразования.

В заключение отметим, что в работе представлены результаты исследования пикосекундного лазера на красителе по схеме РОС, которые позволяют существенно увеличить область непрерывной перестройки, увеличить выходную энергию генерации, выявить условия оптимизации и стабилизации выходных параметров, что в комплексе имеет весьма актуальное значение в смысле практического применения лазеров с РОС в широком диапазоне научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bor Z., Muller A. *IEEE J. Quantum electron*, QE—22, 1524 (1985)
2. Jasny J. *Rev. Sci. Instrum.*, 57, 1303 (1986)
3. Hellng J. et al. *Acta physics et Chem.*, 30, 127 (1984)
4. Реклама. Квантовая электроника, 14, 655 (1987).

ԼԱՅՆ ՏԻՐՈՒՅԹՈՒՄ ՎԵՐԱԼԱՐՎՈՂ, ՊԻԿՈՎԱՐԿՅԱՆԱՅԻՆ ԲԶԿ ԼԵԶԵՐ

Ա. Ա. ԼԱԼԱՅԱՆ, Թ. Ա. ՓԱՓԱԶՅԱՆ, Ս. Մ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Մշակված և ուսումնասիրված է բաշխված հետադարձ կապով ներկանյութային լազերի վերալարման նոր և պարզ համակարգ, որը ապահովում է ֆոնային ճառագայթումից զերծ գեներացիա $\sim 900\text{Å}^\circ$ սպեկտրալ տիրույթում առանց միջանկյալ համալարման: Ուսումնասիրված է զրգոզ ճառագայթի ժամանակային և էներգետիկ բնութագրիչները, ինչպես նաև ներկանյութի խտության ազդեցությունը ելքային ճառագայթման սպեկտրալ, էներգետիկ հատկությունների վրա:

WIDELY TUNABLE PICOSECOND DISTRIBUTED FEEDBACK LASER

A. A. LALAYAN, T. A. PAPAZYAN, S. M. SARKISYAN

A novel simple scheme for tuning of a distributed feedback dye laser (DFDL) providing background-free laser generation in wide spectral range of 900 Å without intermediate subalignment of optics is designed and studied. The influence of energetic and temporal properties of the pumping radiation, as well as of the dye concentration on energetic and spectral properties of output emission of the distributed feedback dye laser is investigated.