

УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЖАТИЯ ПРИ ВРМБ-КОМПРЕССИИ ИМПУЛЬСОВ НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО СВЕТА

С.С.Гулидов, А.А.Мак, С.Б.Паперный

Обнаружен и интерпретирован эффект увеличения коэффициента сжатия, т. е. отношения длительностей импульсов накачки и стока излучения $H = T_n/T_c$, при ВРМБ-компрессии немонахроматического лазерного света. Указывается, что величина H может достигать значений $H_{max} = 60 - 100$ при "оптимальной" ширине спектра импульса накачки.

Речь идет о ВРМБ-компрессии (сжатии импульсов во времени) в сфокусированных пучках, когда стоков импульс формируется из шумов спонтанного рассеяния, распределенных в нелинейной среде длиной $l \gtrsim T_n c/2$ (c – скорость света в среде).

Из физического механизма сжатия вытекает, на первый взгляд, требование предельной немонахроматичности накачки – $\Delta T_n c \sim 1$ (Δ – ширина спектра в см^{-1}), поскольку стоков импульс должен эффективно собирать энергию по всей длине ее импульса. Данное утверждение соответствует и результатам работ ^{1, 2} по ВРМБ-компрессии немонахроматических импульсов эксимерных лазеров, в которых не удалось одновременно получить высокие значения эффективности преобразования и величины H .

Теория и эксперименты ^{3 - 8} применительно к монохроматической накачке показали, что H_{max} ограничено сверху величиной порогового инкремента ВРМБ – $M_{\Pi} = 20 - 30$. Причем H_{max} может быть получен лишь при оптимальных: геометрии фокусировки – $l/z_f = M_{\Pi}$ (z_f – длина фокальной перетяжки) и энергии накачки. Величина последней определяется временем затухания гиперзвука T_p и фактором усиления g (см/МВт) среды. Отметим, что в ^{1, 2} эти условия не были выполнены, а кроме того имелось значительное поглощение света в среде, что не позволяет однозначно связать малые значения H с немонахроматичностью накачки.

Проведенный ниже анализ показал, что величина H_{max} будет даже возрастать, а не уменьшаться, при увеличении ширины спектра. Этот анализ проведен на основе развития модельных представлений ³ о формировании сжатого импульса из распределенных спонтанных шумов при условии $\Delta z_f/M_{\Pi} \ll 1$, обеспечивающем согласно ⁸ высокую эффективность ВРМБ сфокусированного немонахроматического света. Последнее условие, как показал наш эксперимент (см. ниже), является достаточным и для эффективного энергосъема накачки при ВРМБ-компрессии.

Суть подхода ³ состоит в определении временного положения переднего и заднего фронтов стока импульса из пороговых условий ВР. Положение переднего фронта фиксируют шум, стартовавшие из точки z_1 и набравшие пороговый инкремент на трассе $l - z_1$. (Расстояние z отсчитывается от фокуса, где $z = 0$, к входу в нелинейную среду, где $z = l$). Вели-

чина z_1 вычисляется из выражения для инкремента нарастания шумов в поле сфокусированного пучка накачки:

$$\int_{z_1}^l \Gamma(z) dz = M_{\Pi}, \quad (1)$$

где $\Gamma(z) = gI(z)$, см. ³, $I(z)$ – распределение интенсивности накачки вдоль оси z .

Положение заднего фронта фиксируют шумы, стартовавшие из точки z_2 и набравшие на трассе $z_3 - z_2$ пороговый инкремент раньше всех. (Время отсчитывается от момента прохождения переднего фронта импульса накачки через плоскость $z = l$). Величины z_2 и z_3 вычисляются из системы:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dt}{dz_2} = \frac{d}{dz_2} [(l + z_3 - 2z_2)/c] = 0, \\ \int_{z_2}^{z_3} \Gamma(z) dz = M_{\Pi} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Понятно, что длительность стока импульса $T_C = 2(z_1 - z_2)/c$, а ее минимальное значение из (2) при оптимальной энергии накачки – $T_{C0} = \sqrt{2} z_f / c$ (см. ³), при этом $z_1 = 0$, а $z_2 = -z_f / \sqrt{2}$. В случае некогерентной накачки погонный инкремент $\Gamma(z)$ дается ⁸ выражением:

$$\Gamma(z) \approx \begin{cases} gI(z) - 2\Delta, & \text{при } gI(z) > 2\Delta \\ gI(z) (1 + \Delta T_p c / 2)^{-1}, & \text{при } gI(z) < 2\Delta \end{cases} \quad (3)$$

Из (3) понятно, что при некогерентной накачке, когда в сфокусированном пучке происходит еще большая локализация инкремента в районе фокуса, точка z_1 должна несколько смещаться в область отрицательных z , т. е. по направлению к z_2 . Легко показать, что положение последней не зависит от ширины спектра. Из (1) с учетом (3) вычисляется положение z_1 при некогерентной накачке, а затем аналогично ³ получаем зависимость минимальной длительности стока импульса от ширины спектра накачки:

$$T_C(\Delta) / T_{C0} \approx 1 - 2\sqrt{2\pi \Delta z_f / M_{\Pi}} + 3\pi \Delta z_f / M_{\Pi} \quad (4)$$

Из (4) видно, что при $\Delta z_f / M_{\Pi} = 2/9\pi = 0,07$ (при оптимальной фокусировке это эквивалентно $\Delta T_p c \approx 50$) степень сжатия может быть увеличена в три раза, т. е. $H_{max} = 3M_{\Pi}$.

Влияние некогерентности проверялось нами экспериментально в опытах по ВРМБ-компрессии импульсов с различной шириной спектра и при всех прочих практически одинаковых условиях.

Установка состояла из лазера накачки, пучок излучения которого с расходимостью близкой к дифракционной и энергией 25 мДж фокусировался линзой с $f = 300$ см в кювету с аргонном ($p = 120$ атм) длиной 400 см. Линза была расположена вплотную к входному окну. В качестве накачки использовались: импульс второй гармоники неодимового лазера с $T_{H1} = 20$ нс и $\Delta \approx 0,001$ см⁻¹ (см. рис. 1а) и импульс лазера на красителе кумарин-102 с $T_{H2} = 20$ нс, $\Delta \approx 0,04$ см⁻¹, $\lambda_{H2} = 0,47$ мкм (см. рис. 1б, 2а, б). Форма импульсов измерялась фотоэлементом ФК-26 и осциллографом С7-15 с разрешением 0,25 нс, а ширина спектра – интерферометрами Фабри – Перо с базой 15 и 3 см. Поперечное распределение интенсивности обоих пучков формировалось аподизирующей апертурой с пропусканием $T(r) = \exp[-(r/r_0)^6]$, где $r_0 = 0,4$ см.

В указанных условиях энергетическая эффективность ВРМБ была практически одинаковой и достигала 50%, и были получены стоковые импульсы: для накачки с узким спектром – $T_{C1} = 1,2 - 1,3$ нс, а для накачки с широким спектром – $T_{C2} = 0,3 - 0,4$ нс (см. рис. 1в, г). Таким образом в идентичных условиях при некогерентной накачке длительность сжатых

стоксовых импульсов в три раза меньше. Результат эксперимента с лазером на красителе нанесен на рис. 3 и иллюстрирует хорошее совпадение с результатами расчета по формуле (4).

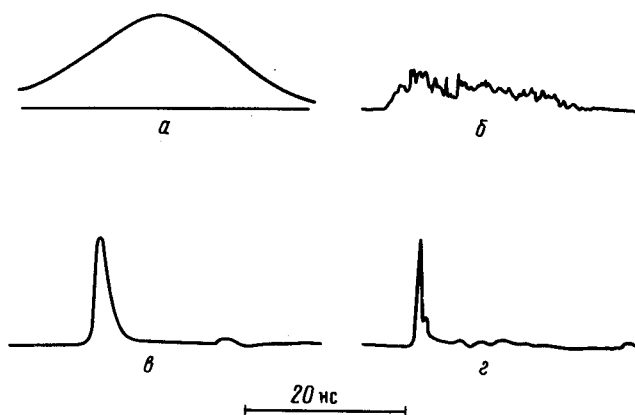


Рис. 1. Осциллограммы импульсов: накачки – (а, б), ВРМБ – (в, г), с узким спектром при $\lambda_{H1} = 0,53$ мкм и $\Delta \approx 0,001$ см⁻¹ – (а, в), с широким спектром при $\lambda_{H2} = 0,47$ мкм и $\Delta \approx 0,04$ см⁻¹ – (б, г)

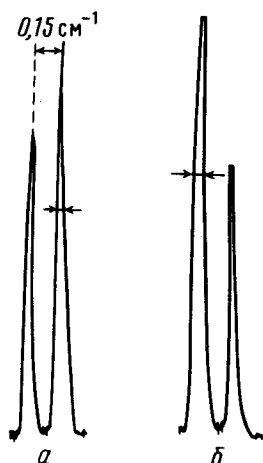


Рис. 2

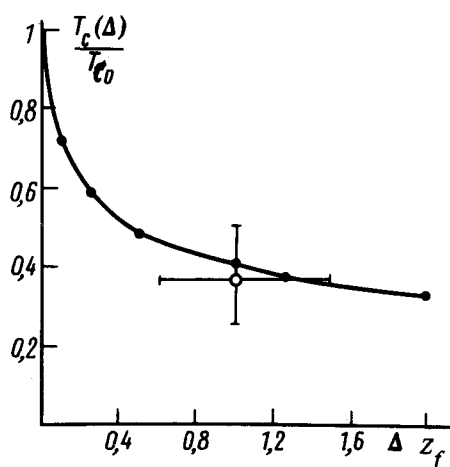


Рис.3

Рис. 2. Денситограммы спектров импульса лазера на красителе – (а) и соответствующего ему стоксова импульса – (б). Область свободной дисперсии интерферометра Фабри – Перо – $0,15$ см⁻¹

Рис. 3. Зависимость минимальной длительности сжатого стоксова импульса от ширины спектра накачки, сплошная линия – расчет по (4), точка – эксперимент с лазером на красителе

Таким образом в работе достигнут "очередной предел" коэффициента сжатия. Полученные результаты, на наш взгляд, представляют значительный интерес в связи с задачами формирования субнаносекундных импульсов в лазерах различных типов, используемых для создания и диагностики плазмы. Их, с известными оговорками, можно распространить и на случай ВКР-компрессии, что позволяет сформулировать требования к спектру накачки, необходимые для прямого преобразования "стандартных" 10 пс импульсов в диапазон ~ 100 фс, причем без ограничений мощности, характерных для волоконно-оптических компрессоров.

Авторы признательны В.Б.Иванову и В.Р.Старцеву за помощь в работе, А.А.Бетину и Г.А.Пасманику за обсуждение ее результатов.

Литература

1. *Tomov I. V., Fedosejevs R., McKen D.* Opt. Letts., 1984, 9, 405.
2. *Tomov I. V., Fedosejevs R. Mc Ken D.* J. of Quant. Electr. IEEE, 1985, QE-21, 9.
3. *Паперный С.Б., Петров В.Ф., Старцев В.Р.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1982, 46, 1595.
4. *Горбунов В.А., Иванов В.Б., Паперный С.Б., Старцев В.Р.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, 48, 1580.
5. *Helwarth R. W.* Optical Phase Conjugations. Ed R.A.Fisher, New-York.: Akad. Press., 1983, p. 169.
6. *Бузялис Р.Р., Гирдаускас В.В. и др.* Лит. физ. сборник, 1986, 26, 713.
7. *Гайжаускас Э., Пискаркас А. и др.* Квантовая электроника, 1987, 14, 1025.
8. *Беспалов В.И., Пасманик Г.А.* Нелинейная оптика и адаптивные лазерные системы. М.: Наука, 1986.
9. *Иванов В.Б., Мак А.А. и др.* Квантовая электроника, 1986, 13, 857.

Поступила в редакцию
8 февраля 1988 г.