

ФИЗИКА

УДК 621.373.826

Т. А. Паназян, Л. Х. Мурадян, А. В. Зограбян,
Н. Л. Маркарян, С. П. Ипханян

Решеточный компрессор с оптической системой

(Представлено чл.-корр. НАН Армении В. М. Арутюняном 18/VIII 1993)

Интенсивные исследования, направленные на расширение и освоение пико-фемтосекундного диапазона длительностей сверхкоротких лазерных импульсов (СКИ), стимулируют разработки разного типа дисперсионных линий задержек (ДЛЗ). Разные по исполнению ДЛЗ—на базе дифракционных решеток и призм⁽¹⁻⁷⁾, паров металлов с резонансом вблизи линии излучения⁽⁸⁾, интерферометра Фабри-Перо⁽⁹⁾, с использованием нелинейной дисперсии кристаллов⁽¹⁰⁾ и жидкокристаллические⁽¹¹⁾ в настоящее время широко используются как внутри резонаторов лазерных источников⁽⁷⁾, так и в схемах волоконно-оптической компрессии (ВОК)^(2-6, 8-11) для регистрации⁽¹²⁾ и укорочения⁽³⁾ СКИ, управления спектром, огибающей и статистическими параметрами излучения⁽⁴⁾. Несмотря на обилие разновидностей таких устройств область групповых задержек в оптическом диапазоне длин волн практически ограничивается значениями $\tau \ll 10$ пс, что в свою очередь ограничивает возможности методов регистрации и управления параметрами СКИ.

В настоящей работе, с целью разработки ДЛЗ в области $\tau \sim 100$ пс, предлагается и на основе расчетов и эксперимента анализируется схема эффективного компрессора.

1. В основе предлагаемой схемы ДЛЗ лежит идея сокращения базы традиционного решеточного компрессора. Решеточный компрессор, предложенный Треси⁽¹⁾, состоит из параллельно расположенных одинаковых дифракционных решеток. Спектральные компоненты излучения, падающего на первую из решеток под углом к нормали γ , отражаются под разными углами θ в соответствии с формулой решетки

$$\sin\gamma + \sin\theta = m\lambda d^{-1}, \quad (1)$$

где λ —длина волны, d —период решетки, m —порядок дифракции. При отражении излучения от второй решетки пучок становится параллельным, между спектральными компонентами возникает временная задержка, обусловленная разностью оптических ходов⁽¹³⁾,

$$\Delta T = Bm^2\lambda d^{-2}\Delta\lambda / (c \times \cos^2\theta). \quad (2)$$

В (2) B —расстояние между решетками, m —порядок дифракции, λ и

$\Delta\lambda$ —длина волны и спектральная ширина линии излучения, d —период решетки, c —скорость света. Недостатком компрессора Треси является неудобство его применения в пико-наносекундном диапазоне длительностей: значение параметра $V\Delta\lambda/\Delta T$ ограничивает использование устройства длительности импульсов $\tau \sim 10$ пс. Для уменьшения базы устройства можно обратиться к схеме Мак-Муллена⁽⁵⁾, где решетки используются при углах скольжения $\Theta \sim \pi/2$, что, однако, приводит к энергетическим потерям и деформации сжатого импульса.

Рассмотрим оптическую систему, состоящую из короткофокусной отрицательной и длиннофокусной положительной линз, помещенную между решетками компрессора Треси. Пусть система настроена в «субтелескопический» режим: расходимости пучка на входе $\Delta\theta_1$ и на выходе $\Delta\theta_2$ равны $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = \Delta\theta$. Тогда следует ожидать существенное сокращение базы V .

Для расчета параметров оптической системы воспользуемся аппаратом матричной оптики. Связь между диаметром D и углом расходимости Θ пучка на входе в систему и на выходе из нее задается выражением⁽¹⁴⁾

$$\begin{bmatrix} D_2 \\ \Delta\theta_2 \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} D_1 \\ \Delta\theta_1 \end{bmatrix}$$

где матрица оптической системы $[M]$ есть произведение матриц, соответствующих линзам, и матрицы свободного пространства (t —расстояние между линзами)

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-t/f_1 & t \\ -1/f_2 - 1/f_1 + t/(f_1 f_2) & 1-t/f_2 \end{bmatrix}$$

Потребовав, согласно условию субтелескопичности, чтобы $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2$ для t и D_2 получим

$$t = D_1(f_1 + f_2) / (D_1 - f_1 \Delta\theta), \quad (3)$$

$$D_2 = D_1(1 - t/f_1) + t\Delta\theta.$$

Увеличение системы $N = -D_2/D_1$ составит

$$N = -f_2/f_1. \quad (4)$$

Очевидно, что такой компрессор с увеличивающей в N раз оптической системой аналогичен компрессору Треси с базой $V \approx D_2/\Delta\theta$. База же предлагаемого компрессора G практически задается расстоянием между линзами $t - G \approx t$.

Эквивалентная база компрессора Треси составляла бы

$$V \approx D_1 N / \Delta\theta = D_1 N d \cos\Theta / m \Delta\lambda.$$

Следовательно, компрессор с оптической системой обеспечивает задержку

$$\Delta T = m \lambda d^{-1} D_1 N / (c \times \cos\Theta).$$

Тем самым выигрыш в базе, относительно компрессора Треси, составляет

$$K = V/G = f_2(f_1 \Delta\lambda d^{-1} - D_1 \cos\Theta) / (f_1 \Delta\lambda d^{-1} (f_1 + f_2)). \quad (5)$$

Следует отметить, что линзовая система в решеточном компрессоре ранее использовалась и в схеме Мартинца⁽⁶⁾ для изменения знака и величины дисперсии устройства. Однако функции оптических систем в этих схемах, несмотря на внешнюю схожесть, принципиально отлич-

чаются: в схеме Мартинца линзы применяются для изменения углов $\Delta\theta_{1,2}$ и этим изменения знака и величины параметра $\Delta\lambda/\Delta\theta_{1,2}$ для отдельных решеток, в то время как в нашей схеме решетки не «чувствуют» наличия оптической системы, настроенной в субтелескопический режим.

2. Экспериментальные исследования направлены на апробацию предлагаемой схемы компрессора и проверку проведенных расчетов. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Она состоит из трех основных частей — задающего генератора, оптического компрессора и системы регистрации.

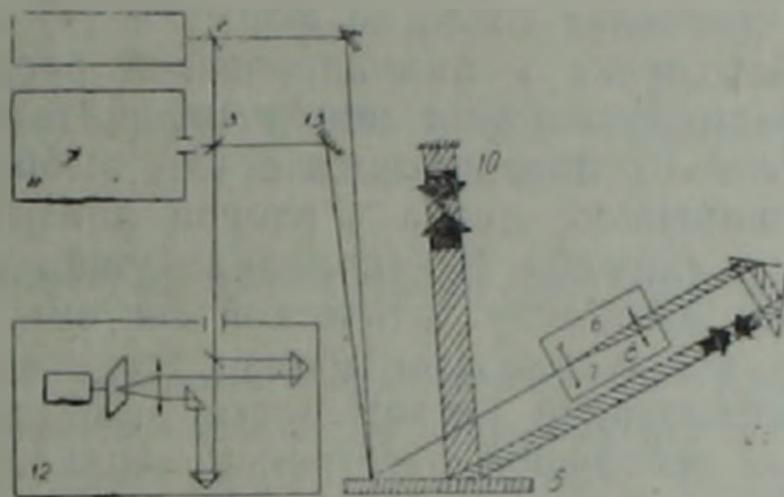


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1—задающий генератор 2, 3, 4, 10, 13—зеркала; 5—дифракционная решетка; 6—телескопическая система; 7, 8—отрицательная и положительная цилиндрические линзы; 9—призма «крыша»; 11—интерферометр Фабри—Перо; 12—коррелятор

Задающим генератором 1 служит твердотельный YAG:Nd лазер с пассивной синхронизацией мод, работающий с частотой повторения 50 Гц. Для удобства в юстировке компрессора используется вторая гармоника (ВГ) излучения— $\lambda=0,53$ мкм.

Лабораторный вариант апробируемой схемы выполнен на базе усовершенствованной «четырёхпроходной» схемы компрессора Треси: замена второй решетки призмой-«крышей» и помещение на выходе возвращающего зеркала позволяет четырежды сократить базу компрессора и избавиться от нежелательного эффекта пространственного разделения спектральных компонент в поперечном сечении выходного пучка⁽¹⁵⁾. Для реализации предлагаемой схемы компрессора между решеткой 5 и призмой 7 помещена оптическая система 6, состоящая из короткофокусной отрицательной и длиннофокусной положительной линз.

Для исключения методических ошибок в эксперименте предусмотрены измерения как временных, так и спектральных параметров излучения на входе в компрессор и на выходе из него. Система регистрации, в соответствии с этим, построена на базе коррелятора 12 и интерферометра Фабри—Перо 11. Коррелятор выполнен по схеме интерферометра Майкельсона. В нем по стандартной методике измерения длительности СКИ⁽¹⁶⁾, в кристалле KDP толщиной 2 мм, генерируется неколлинеарная вторая гармоника на длине волны $\lambda=0,265$ мкм и с помощью ФЭУ-18А прописывается корреляционная функция интенсивности (интенсивность ВГ в зависимости от разницы оптических ходов между плечами коррелятора). Для спектральных измерений была выбрана база интерферометра (толщина кольца) 5 мм, что соответствует области свободной дисперсии $\Delta\nu=1$ см⁻¹,

Экспериментальные исследования на описанной выше установке проводили следующим образом. Часть излучения генератора с помощью полупрозрачного зеркала 2 подавалась в систему регистрации. Параметры излучения на входе в компрессор составляли: длительность импульсов $\tau=30$ пс, спектральная ширина линий $\Delta\lambda=0,14$ А. Зеркало 4 направляло другую часть излучения на дифракционную решетку 5 с периодом 1200 мм^{-1} . Исходя из энергетических соображений угол сражения выбран $\Theta \approx 60^\circ$, что соответствует углу падения $\gamma \approx -14^\circ$. Далее дифрагированный пучок проходил через оптическую систему 6. Фокусные расстояния линз системы составляли $f_1=-12$ см и $f_2=100$ см. Таким образом увеличение согласно формуле (4) составляло $N=8,33$. Поперечный размер пучка у цилиндрической рассеивающей линзы 7 составлял $D_1 \sim 0,3$ см. Расстояние между отрицательной (7) и положительной (8) линзами, согласно формуле (3), выбрано $t \approx 88$ см. Поперечный размер уширенного пучка у второй линзы достигал значения $D_2=2,5$ см. Призма «крыша» 9 направляла уширенный пучок обратно на решетку. Точная настройка оптической системы достигалась вариациями расстояния между линзами вблизи теоретически рассчитанного значения (3) минимизацией расходимости выходного из компрессора пучка. С помощью небольшой расстройки зеркала 10, служащей для обеспечения четырехпроходной конфигурации, излучение выводили из системы и зеркалами 3 и 13 направляли на систему регистрации. Контрольное спектральное измерение не выявило изменений значения ширины линии излучения. Измеренная в корреляторе временная задержка составляла $\Delta T \sim 120$ пс, в хорошем согласии с теоретической оценкой (см. формулу (2)). Таким образом достигается выигрыш в базе $K \approx 850$ (5).

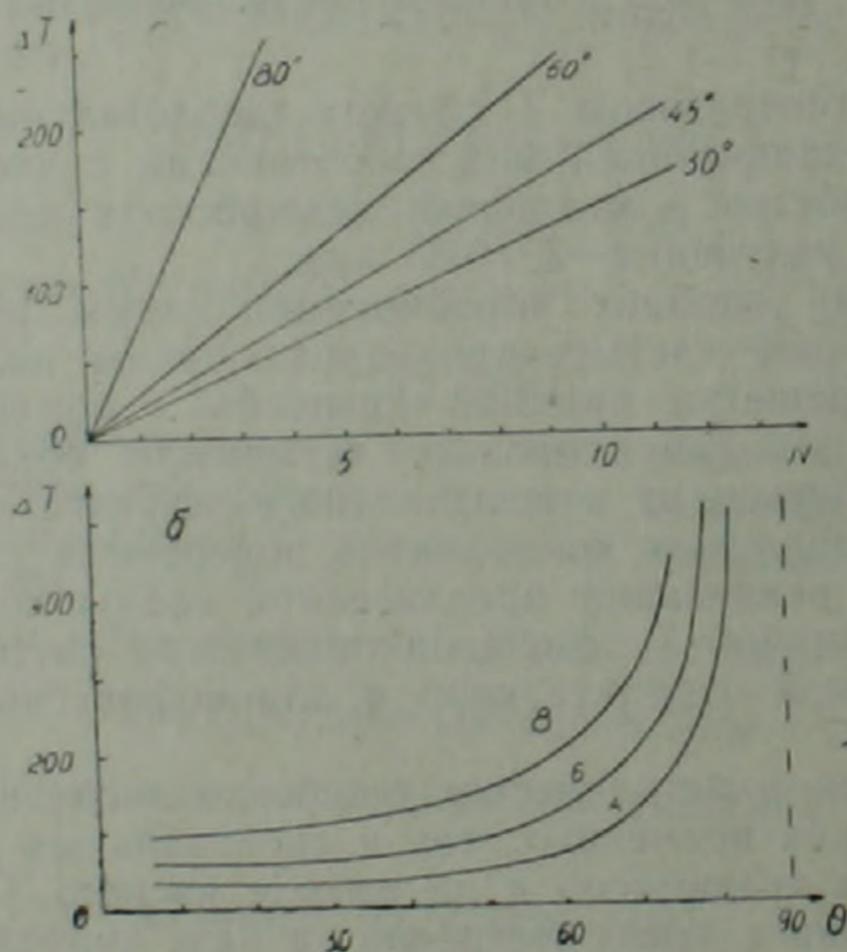


Рис. 2. Время группового запаздывания ΔT в зависимости: от увеличения оптической системы N , при разных углах дифракции: $\Theta=30; 45; 60; 80^\circ$ (а); от угла дифракции Θ при разных значениях увеличения оптической системы: $N=4; 6; 8$ (б)

Кривые на рис. 2а и 2б, построенные для удобства пользования

предложенной схемой, отражают соответствие расчетных и экспериментальных результатов. На рис. 2а приведена зависимость времени группового запаздывания ΔT от увеличения оптической системы N , при разных углах дифракции Θ . На рис. 2б показана зависимость времени группового запаздывания ΔT от угла дифракции Θ при разных значениях N .

В заключение отметим, что данный компрессор может использоваться в схеме спектральной компрессии, предложенной авторами (17).

Ереванский государственный университет

Բ. Ա. ՓԱՓԱԶՅԱՆ, Լ. Խ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Ա. Վ. ԶՈՀՐԱՐՅԱՆ և Լ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ,
Ս. Պ. ԻՇԽԱՆՅԱՆ

Օպտիկական համակարգով ցանցային սեղմիչ

Հարյուրավոր պիկովայրկյանների տիրույթում էֆեկտիվ դիսպերսիոն հապաղման գծի մշակման նպատակով առաջարկվում է և թատրիցական օպտիկայի օգնությամբ վերլուծվում օպտիկական համակարգով ցանցային սեղմիչ:

Ստացված են խմբային հապաղման ժամանակի կախվածությունները օպտիկական համակարգի պարամետրերից և սարքավորման երկրաչափությունից:

Իրագործված է փորձարկվող համակարգի լաբորատոր տարբերակը: Փորձնական և հաշվարկային արդյունքները գտնվում են լավ համապատասխանության մեջ:

ЛИТЕРАТУРА—ԻՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ E. B. Treacy, Phys. Lett. v. A-28, p. 112 (1986). ² Femtosecond Optical Interactions, J. Opt. Soc. Am., v. B-52, № 4 (1985). ³ A. Laubereau, Phys. Lett. v. A—19, p. 539 (1969). ⁴ A. M. Weiner, J. P. Heritage, Thurson, Opt. Lett., v. 11, № 3, p. 153 (1986). ⁵ J. D. McMullen, Appl. Opt. v. 18, № 5, p. 737 (1979). ⁶ O. E. Martinez, J. P. Gordon, R. L. Fork, Opt. Soc. Am., v. 1, № 10 (1984). ⁷ J. P. Gordon, R. L. Fork, Optics Lett., v. 9, p. 156 (1984). ⁸ H. Nakatsuka, D. Grischkowsky, Optics Lett. v. 6, p. 13 (1981). ⁹ M. A. Duguay, J. W. Hansen, Appl. Phys. Lett., v. 14, p. 14 (1969). ¹⁰ А. П. Сухоруков, Изв. АН СССР, Физика, т. 46, № 10, с. 2017, (1982). ¹¹ Р. Б. Алавердян, С. М. Аракелян и др. ЖТФ, т. 7, № 12, с. 188 (1991). ¹² А. О. Варданыян, Д. Л. Оганесян, ДАН АрмССР, т. 90, № 2 (1990); Д. Л. Оганесян, Изв. АН АрмССР, Физика, т. 23, вып. 1, с. 25—28 (1988); А. О. Варданыян, Д. Л. Оганесян, ДАН АрмССР, т. 91, № 4 (1990). ¹³ С. А. Ахманов, В. А. Вислоух, А. С. Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, Наука, М., 1988. ¹⁴ А. Джеррард, Дж. Берч, Введение в матричную оптику, Мир, М., 1978. ¹⁵ A. M. Johnson, R. H. Stolen, W. M. Simpson, Appl. Phys. Lett., v. 44, p. 729 (1984). ¹⁶ M. Maier, W. Kaiser, J. A. Giordmaine, Phys. Rev. Lett., v. 17, p. 1275 (1966). ¹⁷ Н. Л. Маркарян, Л. Х. Мурадян, Т. А. Напазян, Квантовая электроника, т. 18, № 7 (1991).