

ТЕЛЕСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА В ОПТИЧЕСКОМ КОМПРЕССОРЕ

А.В.Зограбян, Л.Х.Мурадян, Т.А.Папазян

В настоящей работе с целью разработки дисперсионной линии задержки в области сотен пикосекунд предлагается и на основе расчетов и эксперимента анализируется схема эффективного компрессора. Разные по исполнению линии задержки — 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 компресии (ВОК) [2–6,8–11] для регистрации [12] и укорочения [3] сверхкоротких импульсов, управления спектром, огибающей и статистическими параметрами излучения [4]. Несмотря на обилие разновидностей таких устройств, область групповых задержек в оптическом диапазоне практически ограничивается значениями $\tau \leq 10$ пс, ограничивая этим возможности методов регистрации и управления параметрами импульсов.

В основе предлагаемой схемы линии задержки лежит идея сокращения базы традиционного решеточного компрессора. Предложенный Треси компрессор состоит из параллельно расположенных одинаковых дифракционных решеток [1]. Временная задержка между спектральными компонентами излучения обусловлена разностью оптических ходов [13]:

$$\Delta T = Bm^2 \lambda d^{-2} \Delta \lambda \cdot c^{-1} \cos^{-2} \theta, \quad (1)$$

где B — расстояние между решетками, m — порядок дифракции, λ и $\Delta \lambda$ — длина волны и спектральная ширина линии излучения, d — период решетки, c — скорость света. Для уменьшения базы компрессора решетки часто используются при углах скольжения $\theta \sim \pi/2$ (схема Мак-Муллена), что однако приводит к энергетическим потерям и деформации сжатого импульса [5].

Рассмотрим помещенную между решетками компрессора Треси оптическую систему, состоящую из короткофокусной отрицательной и длиннофокусной положительной линз.

Пусть система настроена в “субтелескопический” режим: углы расходимости пучка на входе в линзовую систему (1) и на выходе из нее (2) равны: $\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 \equiv \Delta\theta$. Тогда следует ожидать существенного сокращения базы B . Связь между углом расходимости $\Delta\theta$, диаметрами пучка D_1, D_2 , фокальными расстояниями линз f_1, f_2 и расстоянием между ними t в парааксиальном приближении нетрудно получить, пользуясь аппаратом матричной оптики [14]:

$$t = D_1(f_1 + f_2) \cdot (D_1 - f_1\Delta\theta)^{-1},$$

$$D_2 = D_1(1 - t \cdot f_1^{-1}) + t\Delta\theta. \quad (2)$$

Такой компрессор с увеличивающей в $N \equiv D_2 \cdot D_1^{-1} = -f_2 \cdot f_1^{-1}$ раз оптической системой, согласно формулам (1) и (2), аналогичен компрессору Треси с базой $B \approx D_2 \cdot (\Delta\theta)^{-1} = D_1 N \cdot (\Delta\theta)^{-1} = D_1 N d \cos\theta \cdot (m\Delta\lambda)^{-1}$ и обеспечивает задержку

$$\Delta T = m\lambda d^{-1} D_1 N \cdot (c \cdot \cos\theta)^{-1}. \quad (3)$$

Так как база предлагаемого компрессора G практически задается расстоянием между линзами — $G \approx t$, выигрыш в базе относительно компрессора Треси составит

$$K = BG^{-1} = f_2(f_1\Delta\lambda d^{-1} - D_1 \cos\theta) \cdot [f_1\Delta\lambda d^{-1}(f_1 + f_2)]^{-1}. \quad (4)$$

Следует отметить, что линзовая система в решеточном компрессоре ранее использовалась и в схеме Мартинеца [6] для изменения знака и величины дисперсии устройства. Однако функции оптических систем в этих двух схемах, несмотря на внешнюю схожесть, принципиально отличаются: в схеме Мартинеца линзы применяются для изменения углов $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$, и этим самым для изменения знака и величины параметра $\Delta\lambda(\Delta\theta_{1,2})^{-1}$ для отдельных решеток, в то время как в нашей схеме решетки не “чувствуют” наличие оптической системы.

Экспериментальные исследования направлены на апробацию предлагаемой схемы компрессора и проверку проведенных расчетов (см. рис. 1). Задающим генератором I служит твердотельный YAG:Nd лазер с пассивной синхронизацией мод, работающий с частотой повторения 50 Гц. Для удобства в юстировке компрессора используется вторая гармоника излучения — $\lambda = 0.53$ мкм.

Лабораторный вариант апробируемой схемы выполнен на базе “четырёхпроходной” схемы компрессора Треси: замена второй решетки призмой-“крышей” 9 и помещение на выходе возвращающего зеркала 10 позволяет четырежды

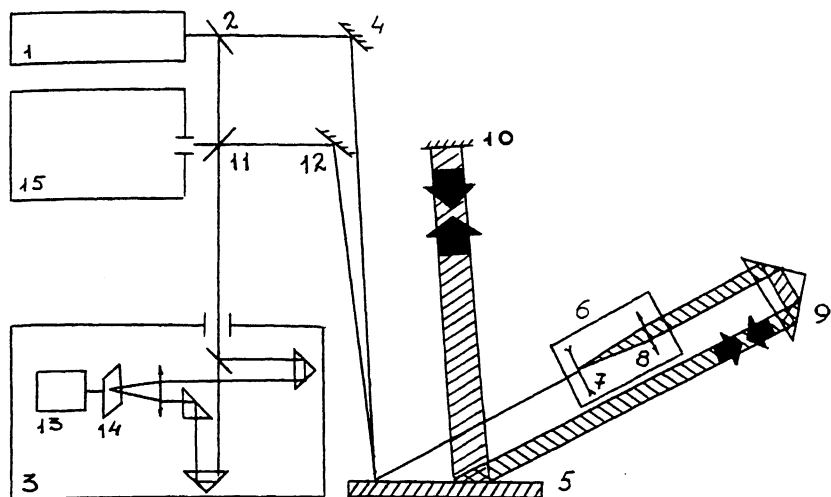


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — задающий генератор; 2, 11 — полупрозрачные зеркала; 3 — коррелятор; 4, 12 — зеркала; 5 — дифракционная решетка; 6 — оптическая система; 7 — отрицательная короткофокусная линза; 8 — длиннофокусная положительная линза; 9 — призма-«крыша»; 10 — возвращающее зеркало; 15 — интерферометр Фабри-Перо; 13 — фотоэлектронный умножитель ФЭУ-18А, 14 — нелинейный кристалл KDP.

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 9 помещена оптическая система 6, состоящая из короткофокусной отрицательной 7 и длиннофокусной положительной 8 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 построена на базе коррелятора 3 и интерферометра Фабри-Перо 15. Коррелятор выполнен по схеме интерферометра Майкельсона: по стандартной методике измерения длительности импульса [16] в кристалле KDP толщиной 2 мм генерируется неколлинеарная вторая гармоника на длине волны $\lambda = 0.265$ мкм и с помощью ФЭУ-18А 13 прописывается корреляционная функция интенсивности. 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 проводились следующим образом. Часть излу-

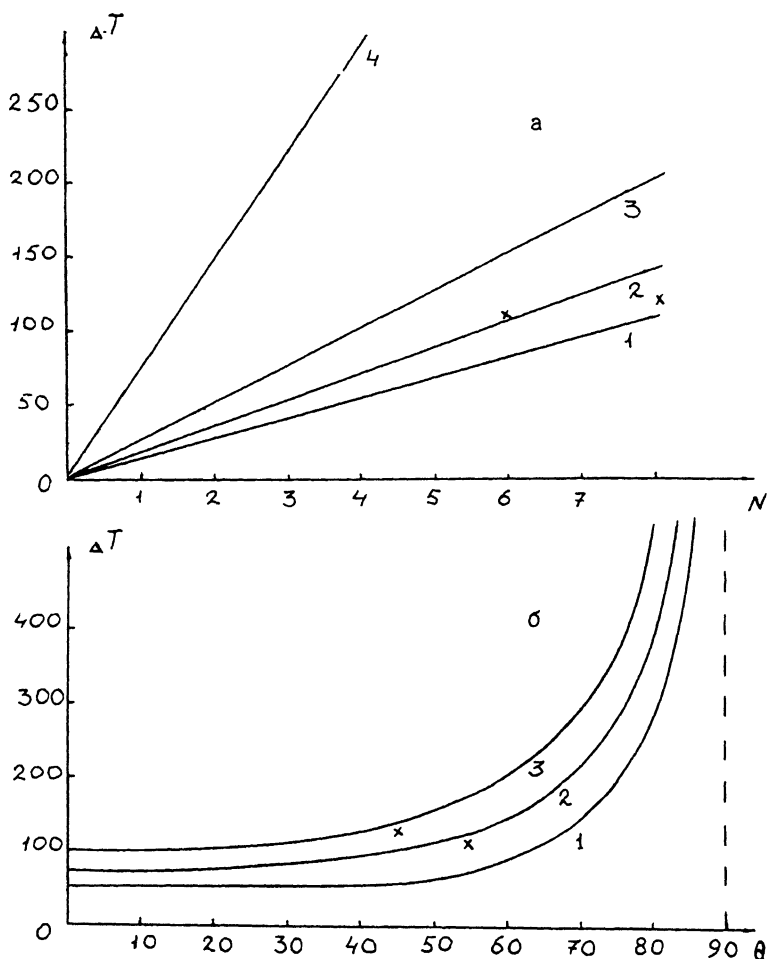


Рис. 2. Время группового запаздывания в зависимости от параметров модифицированного компрессора:

а — кривые зависимости времени группового запаздывания ΔT от увеличения оптической системы N (кривая 1 относится к углу дифракции $\theta = 30^\circ$, 2 — к 45° , 3 — к 60° , 4 — к 80°);

б — кривые зависимости времени группового запаздывания ΔT от угла дифракции θ (кривая 1 относится к значению увеличения $N = 4$, 2 — к 6, 3 — к 8).

Крестики — экспериментально полученные результаты, относящиеся к увеличениям оптической системы $N = 8$ (при значении угла дифракции $\theta = 45^\circ$) и $N = 6$ (при $\theta = 55^\circ$).

чения 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 отражения 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 $f_1 = -12$ и $f_2 = 100$ см. Таким образом, увеличение составляло $N = 8.33$. Поперечный размер пучка у цилиндрической рассеивающей линзы 7 составлял $D_1 \sim 0.3$ см. Расстояние между линзами 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 вблизи рассчитанного по формуле (2) значения достигалась вариациями расстояния между линзами, минимизацией расходимости выходного из компрессора пучка. Небольшой расстройкой зеркала 10, служащей для обеспечения четырехпроходной конфигурации, излучение выводилось из системы и с помощью зеркал 11 и 12 направлялось на систему регистрации. Контрольное спектральное измерение не выявило изменений значения ширины линии излучения. Измеренная в корреляторе временная задержка составляла $\Delta T \sim 130$ пс, что находится в хорошем согласии с теоретической оценкой (см. формулу (3)). Таким образом достигается выигрыш в базе $K \approx 850$.

Кривые, приведенные на рис. 2, построенные для удобства в использовании предложенной схемы, отражают соответствие расчетных и экспериментальных результатов. На рис. 2, а приведена зависимость времени группового запаздывания ΔT от увеличения оптической системы N при разных углах дифракции θ . На рис. 2, б представлена зависимость времени группового запаздывания ΔT от угла дифракции θ при разных значениях N .

В заключение отметим, что данный компрессор может использоваться в предложенной авторами [17] схеме спектральной компрессии, для контроля за параметрами сверхкоротких импульсов и управления ими.

Список литературы

- [1] Treacy E.B. // Phys. Lett. 1986. V. A-28. P. 112.
- [2] Femtosecond Optical Interactions // J. Opt. Soc. Am. 1985. V. B-52. N 4.
- [3] Laubereau A. // Phys. Lett. 1969. V. A-19. P. 539.
- [4] Weiner A.V., Heritage J.P., Thurston // Opt. Lett. V. 11. N 3. P. 153.
- [5] McMullen J.D.: // Appl. Opt. 1979. V. 18. N 5.
- [6] Martinez O.E., Gordon J.P., Fork R.L.: // Opt. Soc. Am. V. 1. N 10.
- [7] Gordon J.P., Fork R.L. // Optics Lett. 1984. V. 9. P. 156.

- [8] Nakatsuka H., Grischkowsky D. // Optics Lett. 1981. V. 6. P. 13.
- [9] Duguay M.A., Hansen J.W. // Appl. Phys. Lett. 1969. V. 14. P. 14.
- [10] Сухоруков А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. Физика. 1982. С. 2017.
- [11] Алавердян Р.Б., Аракелян С.М. и др. // ЖТФ. 1991. Т. 61. В. 6. С. 118.
- [12] Варданян А.О., Оганесян Д.Л. // ДАН РА. 1990. Т. 90. В. 2.; Оганесян Д.Л. // Изв. АН РА. Физика. 1988. Т. 23. В. 1. С. 25-28; Варданян А.О., Оганесян Д.Л. // ДАН РА. 1990. Т. 91. В. 4.
- [13] Азманов С.А., Выслоут В.А., Чикин А.С. А.с.: Оптика фемтосекундных лазерных импульсов.
- [14] Джеррард А., Берч Дж. Введение в матричную оптику.
- [15] Johnson A.M., Stolen R.H., Simpson W.M. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 44. P. 729.
- [16] Maier M., Kaiser W., Giordmaine J.A. // Phys. Rev. Lett. 1966. V. 17. P. 1275.
- [17] Маркарян Н.Л., Мурадян Л.Х., Папазян Т.А. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. В. 7.

Ереванский государственный
университет

Поступило в Редакцию
26 декабря 1993 г.
