

ОБРАЩЕНИЕ ЧИРПА ПИКОСЕКУНДНЫХ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ В КВАДРАТИЧНО-НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ

*Р. Данелюс, А. Пискарскас, В. Сируткайтис,
А. Стабинис, А. Янкаускас*

Сообщаются результаты по наблюдению обращения чирпа пикосекундных световых импульсов в реальном масштабе времени при трехволновом параметрическом усилении в кристалле СДА. Показано, что в средах, обладающих нелинейной восприимчивостью второго порядка возможно фазовое сопряжение временных спектральных компонент оптических сигналов в исключительно широкой полосе частот. Осуществлено обращение в спектральной полосе до 200 см^{-1} при коэффициенте усиления по энергии $\sim 10^4$ раз и выходной мощности сигнала 0,1 ГВт.

1. Предметом настоящего сообщения является изложение результатов экспериментов, проведенных с целью изучения нелинейнооптического явления — обращения чирпа импульсов (ОЧИ) в средах, обладающих безынерционной нелинейностью $\chi^{(2)}$. По сути дела, ОЧИ является временным аналогом обращения волнового фронта (ОВФ). Вопрос обращения чирпа световых сигналов в процессе четырехволновых параметрических взаимодействий обсуждался ранее в теоретических работах ^{1,2}, в которых предлагалось использовать сопряжение спектральных временных компонент для компенсации фазовых искажений вносимых дисперсией групповых скоростей. Основное требование для осуществления обращения во всей полосе частот $\Delta\nu$ фазомодулированного импульса формулируется как $\Delta\nu \ll 1/\tau_R$, где τ_R — характерное время отклика нелинейности среды. Очевидно, что преобладающий вклад инерционных составляющих в нелинейность третьего порядка накладывает жесткие ограничения на частотную полосу ОЧИ в изотропных средах. С другой стороны, трехволновые параметрические процессы протекают на электронной нелинейности, время отклика которой порядка фемтосекунды. Таким образом с использованием $\chi^{(2)}$ в принципе возможно фазовое сопряжение предельно широких для оптического диапазона спектральных полос. Отметим, что ранее демонстрировалась возможность коллинеарного параметрического усиления сигналов с частотной полосой до 3000 см^{-1} ^{3,4}.

2. О фазовом самосопряжении (пассивном ОЧИ) временных спектральных компонент пикосекундных импульсов, возбуждаемых в параметрическом генераторе света сообщалось в ^{5,6}. В настоящей работе изучается активное ОЧИ, протекающие в условиях инъекции пикосекундного сигнала с линейным чирпом в параметрический усилитель. Пользуясь приближением плоских волн приведем краткое обоснование ОЧИ в квадратично-нелинейной среде при параметрическом усилении фазомодулированного светового сигнала в поле спектрально ограниченного импульса накачки. Решение соответствующих укороченных уравнений ⁷ в случае заданного поля накачки и группового синхронизма сигнальной и холостой волн может быть получено в виде

$$A_1(\eta, z) = \frac{A_{10}(\eta)}{2} \exp \left[\sigma \int_0^l a_{30}(\eta - \nu_{31}z) dz \right], \quad (1)$$

$$A_2(\eta, z) = A_1^*(\eta, z),$$

где $A_j = a_j \exp(i\varphi_j)$ — комплексная амплитуда волны, u_j — ее групповая скорость, $\eta = t - \frac{z}{u_1}$, $\nu_{31} = \frac{u_3}{u_3} - \frac{u_1}{u_1}$, σ — коэффициент связи. Введено обозначение $A_j(\eta, z) \Big|_{z=0} = A_{j0}(\eta)$. Предполагалось, что $A_{10} \neq 0$, $A_{20} = 0$ и выполняется условие $l \gg L_{\text{нл}}$, где l — длина нелинейной среды, а $L_{\text{нл}} = 1/\sigma A_{30}(0)$. Как видно, фазовая модуляция сигнального импульса в процессе усиления не искажается ($\varphi_1 = \varphi_{10}$) и имеет место генерация импульса на холостой частоте с

сопряженной фазой ($\varphi_2 = -\varphi_{10}$). Расстройка групповых скоростей усиливаемых импульсов и импульса накачки может обусловить лишь некоторое уменьшение усиления или его насыщение. Таким образом возможно сопряжение оптических сигналов как со случайной так и с регулярной фазовой модуляцией, в том числе, обращение линейного чирпа во времени.

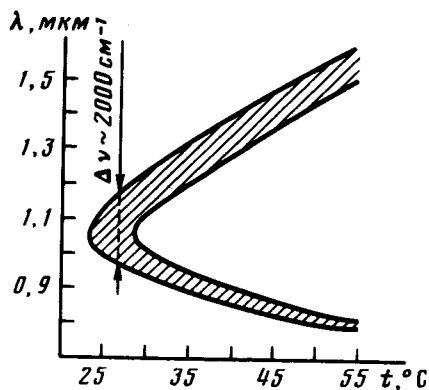


Рис. 1

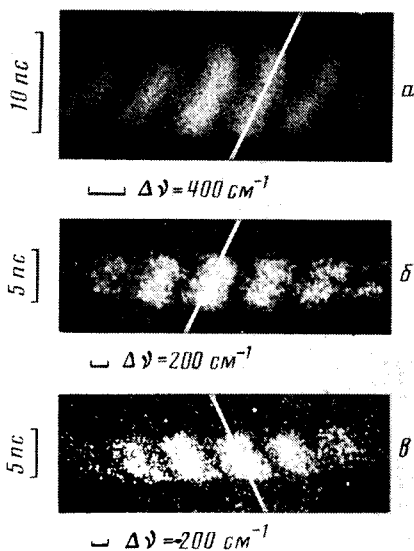


Рис. 2

3. Эксперимент проводился по схеме почти коллинеарного параметрического усиления. Одиночный импульс накачки длительностью 4 – 5 пс и энергией 2 – 3 мДж формировался по блок-схеме аналогичной ⁸. Сигнальный импульс с линейным положительным чирпом приготавливался в одномодовом волоконном световоде (ОВС) ⁹ длиной 1,3 м. Для этого на вход ОВС подавался импульс с энергией ~0,1 мкДж ($\lambda = 1,054$ мкм). В результате фазовой самомодуляции спектр импульса уширялся в среднем до 400 см^{-1} , а длительность увеличивалась до ~10 пс. В качестве квадратично-нелинейной среды для реализации параметрического усиления был выбран кристалл CDA ($l = 4$ см, взаимодействие $e\text{-}o\text{-}o$), обладающий 90-градусным синхронизмом и исключительно широкой частотной полосой усиления (см. рис. 1). Как показали оценки, групповая расстройка и дисперсионное расплывание используемых в эксперименте импульсов в кристалле незначительны. Сигнал и импульс накачки через согласующие линии задержки вводились в кристалл, в котором достигалось усиление по энергии ~ 10^4 раз. В связи с тем, что импульс накачки "вырезал" из более широкого сигнального импульса соответствующую спектральную полосу, после усилителя девиация частоты сигнального и холостого импульсов уменьшалась в среднем до 200 см^{-1} . Исследование фазовременных характеристик импульсов проводилось методом динамической интерферометрии с применением интерферометра Майкельсона и камеры "АГАТ-СФ-3". На рис. 2 показаны динамические интерферограммы импульса на выходе ОВС (а), а также сигнального (б) и холостого (в) импульсов на выходе параметрического усилителя, полученные с интерферометром, область свободной дисперсии которого 555 см^{-1} . Угол наклона полосы в динамической интерферограмме пропорционален крутизне чирпа $\Delta\nu/\tau$, где $\Delta\nu$ – девиация частоты, τ – длительность импульса. Направление наклона зависит от знака чирпа. Как видно из интерферограмм, представленных на рис. 2, б и в, полосы наклонены в разные стороны. Это свидетельствует, что фазовые характеристики сигнального и холостого импульсов являются сопряженными.

4. Таким образом в данной работе показано, что в процессе параметрического усиления в квадратично-нелинейной среде имеет место обращение чирпа широкополосных оптических сигналов.

В результате трехволнового ОЧИ сформированы фазосопряженные пикосекундные импульсы с линейным chirпом и мощностью 0,1 ГВт, удовлетворяющие условиям сжатия до 80 фс в среде с положительной дисперсией групповых скоростей. Отмечена перспективность использования ОЧИ в спектроскопии сверхвысокого временного разрешения, в системах обработки информации и квантовой электронике фемтосекундного диапазона.

Литература

1. Marburger J.H. Appl. Phys. Lett., 1978, 32, 372.
2. Yariv A., Fekete P., Pepper D. Opt. Lett., 1979, 4, 52.
3. Campillo A.J., Hyer R.C., Shapiro S.L. Opt. Lett., 1979, 4, 357.
4. Барейка Б., Бирмонтас А., Пискарскас А., Сируткайтис В., Стабинис А. Квантовая электроника, 1982, 9, 2534.
5. Варанавичюс А., Григонис Р., Пискарскас А., Стабинис А., Янкаускас А. Письма в ЖТФ, 1980, 6, 1447.
6. Василяускас В., Пискарскас А., Сируткайтис В., Стабинис А., Янкаускас А. Изв. АН СССР, сер. физическая, 1985, 49, 493.
7. Akhmanov S.A., Chirkin A.S.; Drabovich K.N., Kovrigin A.J., Khoklov R.V., Sukhorukov A.P. IEEE J. Quant. Electron., 1968, QE-4, 598.
8. Дикчюс Г., Жилинскас Э., Пискарскас А., Сируткайтис В. Квантовая электроника, 1979, 6, 1610.
9. Grischkowsky D., Balant A.C. Appl. Phys. Lett., 1982, 41, 1.

Вильнюсский
государственный университет им. В.Капсукаса

Поступила в редакцию
1 июня 1985 г.