

- [1] В е д н о р з J.G., М u l l e r К.А. // Z. Phys. B, Cond. Matter, 1986, V. 64, N 2, P. 189.
- [2] В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М., Г р а б о й И.Э. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 21. С. 2001.
- [3] Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е. Спинволновая электроника. М.: Знание, 1988. 64 с.
- [4] Г у л я е в Ю.В., К о т е л я н с к и й И.М., К р а в ч е н к о В.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 8, С. 761.
- [5] Б у г а ё в А.С., Г а л к и н О.Л., Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. № 8. С. 485.
- [6] Н у л т о н Т.Л., К а р и т у л н и к А. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 14. P. 1343.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР

Поступило в Редакцию
13 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

07

СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД ПАССИВНОГО КОЛЬЦЕВОГО ВОЛОКОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

А.Г. Б у л у ш е в, Е.М. Д и а н о в,
А.В. К у з н е ц о в, О.Г. О х о т н и к о в

Одним из путей получения коротких световых импульсов является сжатие сигнала, предварительно спектрально уширенного с помощью фазовой модуляции, на линии задержки с высокой дисперсией групповой скорости. Другая возможность уменьшения длительности импульса состоит в спектральной аподизации частотных компонент, образующих крылья импульса [1].

В настоящей работе предложен и реализован способ получения оптических импульсов из непрерывного по интенсивности излучения, в котором предварительно частотной модуляцией формируются фазированные спектральные компоненты, а затем в кольцевом волоконном интерферометре (КВИ) осуществляется их спектральная фильтрация. Таким образом, происходит возбуждение синхронизованных мод КВИ, фазировка которых обеспечивает получение оптических импульсов.

Оптическая схема эксперимента показана на рис. 1.

Излучение инжекционного лазера с длиной волны ≈ 1.58 мкм и оптической обратной связью, обусловленной резонансным Релеевским рассеянием (R^3) из КВИ длиной 2 м [2], подавалось через

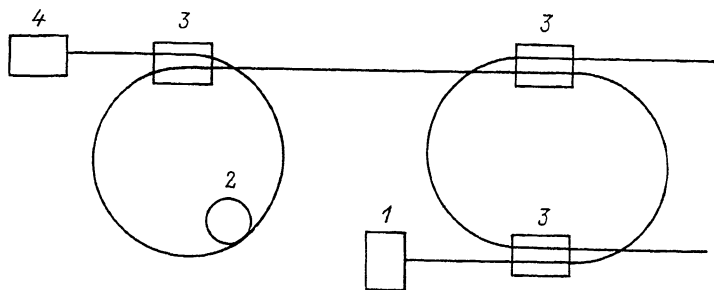


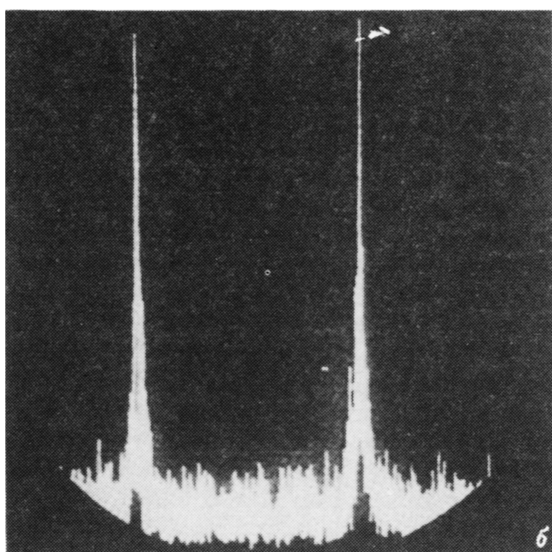
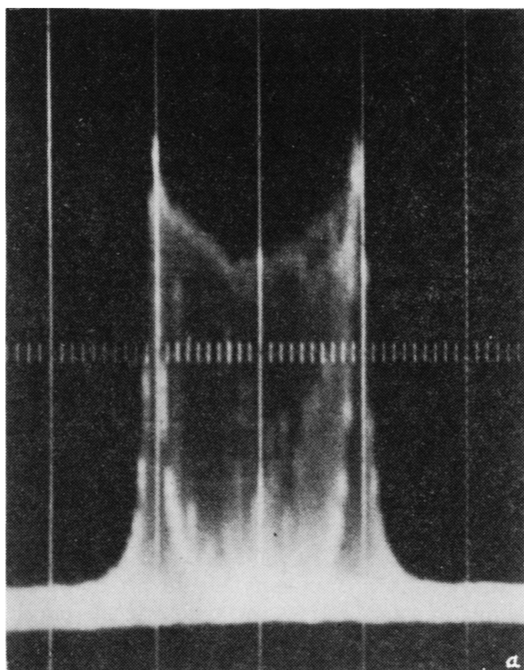
Рис. 1. Экспериментальная схема. 1 - приемник излучения, 2 - пьезокерамический модулятор, 3 - направленные ответвители, 4 - лазерный диод.

изолятор в исследуемый КВИ длиной ≈ 700 м и резкостью 25, образованный двумя сплавными ответвителями. КВИ были изготовлены из одномодового волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления и длиной волны отсечки 1.2 мкм. В отсутствие возмущений лазер излучал на одной частоте с шириной линии < 50 кГц аналогично [2]. Фотоприемник 1 регистрирует мощность, пропорциональную мощности циркулирующего в кольце излучения на дополнительном выходе, на котором отсутствует фоновый сигнал на частотах, не совпадающих с резонансами исследуемого КВИ. Частотная модуляция P^3 - лазера осуществлялась с помощью пьезокерамического модулятора 2 в диапазоне 8 Гц-100 кГц, при этом амплитудная модуляция излучения не наблюдалась.

Спектр источника излучения с синусоидально изменяющейся частотой $\omega(t) = \omega_0 + 2\pi\Delta f \cos 2\pi\nu_M t$ состоит из гармоник с частотами $\omega_0 + 2\pi n \nu_M$ ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$), нормированная амплитуда которых описывается функцией Бесселя $J_n(\Delta f/\nu_M)$.

Спектр лазера, измеренный с помощью сканирующего КВИ длиной 1 м, показан на рис. 2, а. Параметры частотной модуляции для приведенного спектра составляли $\nu_M = 100$ кГц и $\Delta f = 10$ МГц.

На выходе исследуемого КВИ на спектр источника излучения накладывается амплитудное пропускание интерферометра, отличное от нуля вблизи резонансов, расположенных с частотным интервалом $\Delta\nu$ (область свободной дисперсии КВИ). Наличие в спектре проходящего излучения эквидистантных максимумов на расстоянии $\Delta\nu$ со связанными фазами приводит к появлению на выходе КВИ импульсов с периодом следования, равным времени обхода КВИ. При $\nu_M \ll \Delta\nu$ за счет спектральной фильтрации в КВИ вводится малая доля энергии, пропорциональная контрасту и обратно пропорциональная резкости F КВИ, кроме того, конечная ширина резонансов КВИ приводит к периодическому (на частоте $\Delta\nu/F$) уширению импульсов, а из-за присутствия в спектре гармоник на расстоянии ν_M выходной сигнал промодулирован на соответствующей частоте.



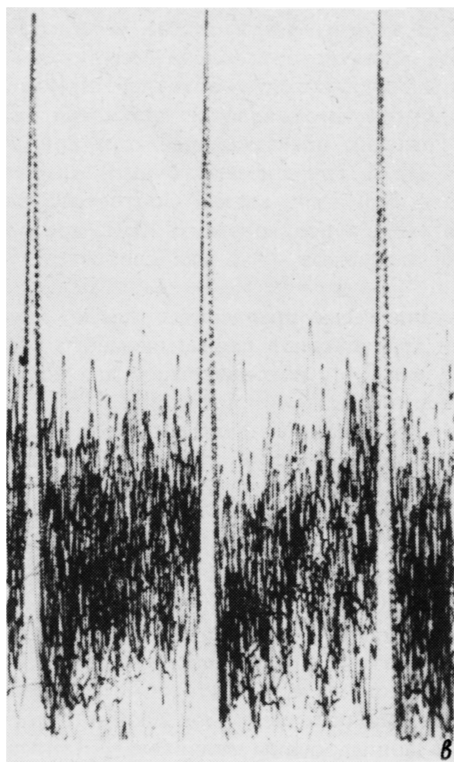


Рис. 2. а) Спектр лазера со свипирующей частотой при $\Delta f = 10$ МГц и $\nu_M = 100$ кГц; частотный масштаб — 10 МГц/деление. б) Два порядка спектра выходной мощности при $\nu_M = 75$ кГц; частотный интервал между компонентами спектра 300 кГц. в) Импульсы на выходе кольцевого интерферометра; период следования ~ 3 мкс.

Перечисленные трудности удается преодолеть, когда ν_M сравнима с $\Delta\nu$. В центральной части спектра частотно-модулированного излучения $n \ll \Delta f / \nu_M$ и можно воспользоваться асимптотической формулой $J_n(\Delta f / \nu_M) \approx \cos(\Delta f / \nu_M - n\pi/2 - \pi/4) \sqrt{2\nu_M / \pi \Delta f}$.

В случае $\nu_M = \Delta\nu / 4$ при совпадении гармоник с резонансами КВИ выходной спектр содержит эквидистантные гармоники, ширина которых определяется параметрами источника и может быть значительно меньше ширины резонансов КВИ. Максимальный ввод излучения в КВИ ($\sim 50\%$) достигается в центральной части спектра при $\Delta f / \nu_M = m\pi + \pi/4$ (m — целое) и единичном контрасте кольца, наблюдаемом для совпадающих коэффициента перекачки входного ответвителя КВИ и коэффициента суммарных потерь за один проход интерферометра [3]. На краях спектра ($\omega - \omega_0 \sim \pm 2\pi\Delta f$)

эффективность ввода снижается. Большую ширину синхронизованного спектра, от которой зависит длительность импульсов на выходе КВИ, и суммарную эффективность ввода излучения в интерферометр можно получить при пилообразной частотной модуляции.

Два порядка спектра интенсивности излучения на фотоприемнике 1, полученные с помощью спектроанализатора при $\nu_M = 75$ кГц, приведены на рис. 2, б. Три промежуточные гармоники, не совпадающие с резонансами КВИ, подавлены. Соответствующие импульсы, наблюдавшиеся на выходе исследуемого КВИ, показаны на рис. 2, в. Период следования импульсов ~ 3 мкс соответствует времени обхода КВИ.

Результаты, аналогичные приведенным выше, были получены и при использовании традиционной схемы внешнего резонатора полупроводникового лазера [4], используемого для получения частотно модулированного излучения.

Оптический спектр, сформированный частотной модуляцией, характеризуется амплитудными и фазовыми соотношениями между спектральными компонентами, дающими непрерывное по интенсивности излучение небольшой мощности. Такое излучение можно передавать по оптическому волноводу на значительные расстояния без существенных искажений из-за нелинейных эффектов, а мощный импульс формировать в КВИ на конце передающей линии.

Таким образом, в настоящей работе наблюдалась синхронизация мод пассивного резонатора, приводящая к формированию оптических импульсов, при возбуждении его частотно-модулированным излучением. В отличие от синхронизации мод лазера в рассмотренном случае могут быть использованы значительно меньшие частоты модуляции и получена большая задержка между импульсами. Кроме того, в пассивном резонаторе легче достичь необходимой эквидистантности мод. Дальнейшего сужения импульсов и повышения эффективности ввода в КВИ можно добиться, увеличивая девиацию частоты источника излучения и выбирая форму модуляции частоты. Эффективность возбуждения описанным способом импульсов в КВИ может значительно превосходить эффективность ввода в интерферометр уже сформированного импульса. Совпадение частотных компонент сформированного оптического спектра с резонансными частотами интерферометра приводит к накоплению в нем энергии [2] и при соответствующей фазировке спектра к увеличению мощности импульса. Предложенная схема может быть использована для эффективной синхронной накачки кольцевых волоконных лазеров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G o m e s A.S.L., G o u v e i a - N e t o A.S., T a y l o r J.R., A v r a m o p o u l o u s H., N e w G.H.C. // Opt. Comm. 1986. V. 59. P. 399-402.
- [2] B u l u s h e v A.G., D i a n o v E.M., K u z n e t s o v A.V., O k h o t n i k o v O.G. // Electron. Lett. 1988. V. 24. N 18. P. 1172-1173.

- [3] Zhang F., Lit J.W.Y. // J. Opt. Soc. Am. A. 1988. V. 5. N 8. P. 1347-1355.
- [4] Богатов А.П., Елисеев П.Г., Охотников О.Г., Рахвалевский М.П., Хайретдинов К.А. // Труды ФИ АН СССР. 1986. Т. 166. С. 52-67.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
19 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

07

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕТАЛЛ-ЭЛЕКТРОЛИТ И МЕХАНИЗМ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРООТРАЖЕНИЯ

О.А. Акципетров, А.М. Бродский,
Л.И. Дайхин, А.В. Ермушев,
Т.В. Мурзина, А.В. Петухов,
С.К. Сигалаев, А.М. Фунтиков

Значительный интерес к исследованию процесса генерации второй гармоники (ВГ) при отражении излучения от поверхности центросимметричной среды связан с высокой чувствительностью интенсивности нелинейно-оптического отклика к свойствам граничного слоя, возможностью исследования динамики быстропротекающих процессов и излучения границы раздела конденсированных сред [1-6]. На основе явления нелинейного электроотражения (НЭО) на границе раздела металл-жидкость [3] - зависимости интенсивности ВГ от величины приложенного к границе скачка потенциала - исследуются адсорбция молекул и ионов, зарядовое состояние поверхности и ее шероховатость [4-6]. Однако до настоящего времени не существует модели этого явления, удовлетворительно описывающей всю совокупность экспериментальных фактов. В настоящей работе предпринята попытка восполнить этот пробел на основе анализа результатов исследования НЭО на гранях (111) и (100) монокристалла серебра.

Нелинейное электроотражение наблюдалось при отражении от серебряного монокристаллического электрода ρ -поляризованного излучения одномодового YAG : Nd^{3+} лазера с длиной волны $\lambda = 1064$ нм, длительностью импульса $\tau = 10-20$ нс и плотностью мощности ~ 1 МВт/см². Излучение ВГ с $\lambda = 532$ нм выделялось монохроматором ДФС-24 и регистрировалось ФЭУ-79 и стробируемым аналого-цифровым преобразователем. Скачок потенциала φ накладывался на границу раздела серебро - водный раствор 0.01 М