

Благодаря низкому порогу генерации LiF удалось реализовать квазинепрерывный режим. Длительность импульса квазинепрерывной генерации LiF-лазера была одного порядка с длительностью импульса накачки и составляла  $3 \cdot 10^{-4}$  с, однако он был менее гладкий с глубиной модуляции до 70%. Для получения более гладкого импульса генерации необходимо использовать резонатор для лазера на LiF, аналогичный резонатору задающего рубинового лазера.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность реализации квазинепрерывного режима генерации лазера на LiF, а следовательно, повышения чувствительности метода ВЛС почти на два порядка.

#### Литература

- [1] В. М. Баев, В. Ф. Гамалий, Б. Д. Лобанов, Е. Ф. Мартынович, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков, В. М. Хулугуров. Квант. электрон., 6, 92, 1979.
- [2] И. А. Парфианович, Б. Д. Лобанов, В. М. Хулугуров. Изв. вузов, физика, № 4, 81, 1978.
- [3] А. М. Ратнер. Квантовые генераторы света с большим угловым расхождением. Киев, «Наукова думка», 1970.

Поступило в Редакцию 17 марта 1980 г.

УДК 535.854

### ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОСТРОЕНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

*Ю. Г. Козлов, А. И. Лопатин и А. М. Шухтин*

Возможность использования селективной интерференции для построения спектральных приборов была показана Конном в 50-х годах [1]. Им же предложен ряд оптических схем [2], получивших название СИСАМ (спектрометр с интерференционной селективной амплитудной модуляцией). В свое время были предложены и другие оптические схемы СИСАМов [3] с использованием интерферометров различных типов. С тех пор многими авторами делались попытки сформулировать требования к оптической схеме интерферометра, необходимые для того, чтобы он мог считаться СИСАМом.

Однако в известной литературе эти требования сформулированы весьма расплывчато и представляют собой смесь физических (принципиальных) и технических (конструктивных) требований, которые, конечно, одинаково важны при построении спектрального прибора, но тем не менее должны быть разграничены.

В настоящей работе мы хотели бы сформулировать физические требования, отличающие СИСАМ от обычных двухлучевых интерферометров. Анализируя их, определить возможные пути совершенствования таких приборов.

Основная идея СИСАМа состоит во введении диспергирующих элементов непосредственно в плечи двухлучевого интерферометра таким образом, чтобы изображения входной апертуры, даваемые плечами интерферометра, совпадали в свете одной длины волны и не совпадали в свете других длин волн. Тогда контрастность интерференционной картины будет максимальной для совпадающих изображений, т. е. для света в окрестности некоторой длины волны. Такое явление принято называть селективной интерференцией. Выделяя интерферирующую часть светового потока (например, с помощью интерференционной модуляции),



можно реализовать определенное спектральное разрешение, т. е. использовать селективный интерферометр в качестве спектрального прибора (СИСАМа).

Рассмотрим условия реализации селективной интерференции, не конкретизируя оптическую схему интерферометра. Итак, мы имеем двухлучевой интерферометр, одно или оба плеча которого содержат диспергирующие элементы. Пусть оптическая схема, содержащая такой интерферометр, формирует на выходе изображение входной апертуры. Помещая на входе такой схемы пространственно некогерентный источник света, мы вправе рассматривать его как совокупность независимых точечных источников, характеризуемых положением в пространстве (радиус-вектор  $\mathbf{r}$ ) и длиной волны испускаемого света ( $\lambda$ ). На выходе мы получим две совокупности попарно когерентных дифракционных изображений точек источника. Будем считать, что величина и форма всех дифракционных изображений одинакова, а разность фаз по полю постоянна. Тогда контрастность интерференционной картины будет зависеть только от их взаимного расположения. Если положению главного максимума дифракционных изображений сопоставить радиус-вектор  $\mathbf{R}$ , то мы получим на выходе нашей оптической системы две функции  $\mathbf{R}_1(\mathbf{r}, \lambda)$  и  $\mathbf{R}_2(\mathbf{r}, \lambda)$ , каждая из которых характеризует одно из плеч интерферометра. Заметим, что  $\mathbf{R}(\mathbf{r}_0, \lambda)$  — это спектр, а  $\mathbf{R}(\mathbf{r}, \lambda_0)$  — изображение источника, причем когерентными будут только пары  $\mathbf{R}_1(\mathbf{r}_0, \lambda_0)$  и  $\mathbf{R}_2(\mathbf{r}_0, \lambda_0)$ .

Очевидно, что первым условием реализации интерферометра будет совпадение хотя бы одной когерентной пары

$$\mathbf{R}_1(\mathbf{r}_0, \lambda_0) = \mathbf{R}_2(\mathbf{r}_0, \lambda_0). \quad (1)$$

1. Спектры, даваемые плечами интерферометра, должны иметь общую точку в пространстве  $\mathbf{r}, \lambda$ . Характерной чертой селективных интерферометров является уменьшение контраста интерференционной картины при изменении длины волны света. Естественным условием этого будет несовпадение координат соответствующих главных максимумов

$$\mathbf{R}_1(\mathbf{r}_0, \lambda_0 + \delta\lambda) \neq \mathbf{R}_2(\mathbf{r}_0, \lambda_0 + \delta\lambda).$$

Раскладывая функции  $\mathbf{R}_1$  и  $\mathbf{R}_2$  в ряд по  $\lambda$  и учитывая (1), мы приходим к условию

$$\left. \frac{\partial \mathbf{R}_1}{\partial \lambda} \right|_{\mathbf{r}_0, \lambda_0} \neq \left. \frac{\partial \mathbf{R}_2}{\partial \lambda} \right|_{\mathbf{r}_0, \lambda_0}. \quad (2)$$

Векторную величину  $\partial \mathbf{R} / \partial \lambda$  можно трактовать как пространственный аналог линейной дисперсии — «пространственную дисперсию». Например, для линзы и зонной пластинки вектор пространственной дисперсии направлен вдоль оптической оси, а для дифракционной решетки и призмы — перпендикулярно ей. Заметим, что для выполнения соотношения (2) достаточно различия дисперсий по одной из координат (что реализуется в большинстве схем), а при равенстве первых производных — различия вторых производных и т. д.

В силу произвольности выбора  $\mathbf{r}_0$  и  $\lambda_0$  второе требование к селективному интерферометру можно сформулировать следующим образом.

2. Пространственные дисперсии плеч интерферометра должны быть различными. В принципе любой интерферометр, удовлетворяющий указанным выше требованиям, будет селективным и его можно использовать в качестве спектрального прибора (СИСАМа). Однако можно указать еще одно дополнительное требование, необходимое для реализации выигрыша Жакино, переходя к описанию пространственно протяженного источника. Оно должно состоять в сохранении условия (1) при изменении координаты входного точечного источника, т. е.

$$\mathbf{R}_1(\mathbf{r}_0 + \Delta \mathbf{r}, \lambda_0) = \mathbf{R}_2(\mathbf{r}_0 + \Delta \mathbf{r}, \lambda_0). \quad (3)$$



Это условие слишком сильное, поэтому раскладывая функции  $R_1$  и  $R_2$  в ряд вблизи точки  $r_0$  и учитывая, что в общем случае каждая компонента вектора  $R$  зависит от всех компонент вектора  $r$ , можно ослабить условие (3), учитывая только первые производные

$$R_i^1(r_0, \lambda) + \nabla_r R_i^1|_{r_0, \lambda_0} \Delta r = R_i^2(r_0, \lambda_0) + \nabla_r R_i^2|_{r_0, \lambda_0} \Delta r,$$

где  $i=1, 2, 3$  — число измерений протяженного источника. Откуда с учетом (1) мы приходим к покомпонентному условию

$$\nabla_r R_i^1 \Delta r = \nabla_r R_i^2 \Delta r. \quad (4)$$

Формулировка этого дополнительного требования может быть следующей:

3. Изображения пространственно протяженных источников должны совмещаться по возможности более полно. Переходя к анализу предложенных требований, мы не будем останавливаться на первом из них, так как оно необходимо вообще для «существования» интерферометра, и обратимся сразу ко второму. Здесь самым существенным является его обобщающий характер по сравнению с общепринятым — «дисперсии должны быть направлены в противоположные стороны». Действительно, пространственная дисперсия  $\partial R / \partial \lambda$  есть вектор, характеризующийся как абсолютной величиной (модулем), так и направлением в пространстве. Поэтому очевидно, что частный случай одинаковых по величине и противоположно направленных дисперсий, реализуемый в большинстве известных схем, не исчерпывает всех возможностей, предоставляемых формулой (2).

Из второго пункта требований можно сделать следующие практические выводы.

1. Селективный интерферометр можно получить, используя любой двухлучевой интерферометр и любую пару диспергирующих элементов, таких как призмы, дифракционные решетки, линзы и т. д., включая в их число и плоское зеркало как элемент с нулевой дисперсией, а также любые их комбинации.

2. Явление селективной интерференции можно реализовать выбором и расположением диспергирующих элементов, обеспечивающим либо различие направления для равных по модулю дисперсий плеч, либо различие дисперсий по модулю при их направленности, либо различие дисперсий по модулю и по направлению одновременно.

Так, например, в СИСАМе Конна дисперсии решеток могут составлять любой, отличный от нуля, угол, а сами решетки могут располагаться произвольным образом, обеспечивающим выполнение первого пункта требований. Любая из решеток или обе они могут быть заменены любым диспергирующим элементом, кроме зеркала, которым можно заменять только одну из решеток. В случае использования пары диспергирующих элементов с разной по модулю дисперсией направления дисперсий могут совпадать.

Для СИСАМа с решеткой-светоделителем, в котором используются порядки дифракции одного номера и разного знака, следует отметить возможность использования порядков одного знака и разных номеров и различных номеров, включая нулевой, и знаков.

3. Спектральная разрешающая способность селективного интерферометра определяется разностью векторов пространственной дисперсии плеч  $\partial R_1 / \partial \lambda - \partial R_2 / \partial \lambda$ . Поэтому изменяя взаимное направление дисперсий, можно плавно менять разрешение как интерферометра, так и СИСАМа на его основе. Можно показать, что геометрический фактор СИСАМа увеличивается при этом во столько раз, во сколько падает разрешение. Этот вывод представляется особенно важным, так как изменяет традиционное представление о СИСАМе как спектрометре с постоянной разрешаю-



щей способностью, всегда реализующем теоретическое разрешение диспергирующего элемента.

Касаясь третьего пункта требований, можно сказать, что он представляет собой по существу ограничение, выделяющее из числа селективных интерферометров те, которые обладают высоким геометрическим фактором.

Формулируя требования, мы сознательно не вводили в рассмотрение модуляцию и сканирование, так как при построении СИСАМа эти вопросы могут решаться произвольно. Так, например, модуляция может осуществляться как изменением порядка интерференции (разности фаз) или контрастности, так и сравнением сопряженных выходов интерферометра, и только качество модуляции (глубина, амплитудные и фазовые искажения и т. д.) может при прочих равных условиях отличать один СИСАМ от другого. Не представляет сомнений также и то, что в интерферометре, удовлетворяющем всем трем (или первым двум) требованиям, всегда можно соответствующим образом перемещать диспергирующие элементы и производить перестройку с одной длины волны на другую.

т. е. сканировать по спектру.

В заключение остановимся на одной специфической особенности селективных интерферометров, в которых светоделительным и свето-сводящим элементом служит одна и та же дифракционная решетка со штрихом симметричного профиля. Принципиальная схема такого интерферометра обычно проводится в виде решетки и двух автоколлимационных зеркал, установленных в симметричных порядках дифракции. Исследуемый пучок света падает на решетку нормально к ее поверхности. При идеальной юстировке такой системы и эквивалентных ей энергии излучения с длиной волны настройки обязательно возвратится в обратном направлении (если пренебречь диффузным рассеянием и уходом энергии в другие порядки дифракции). Следовательно, модуляция поступательным перемещением одного из зеркал становится невозможной. В классических интерферометрах такой ситуации не возникает, так как там всегда есть два дополнительных друг другу выхода, расположенных по разные стороны от полупрозрачного зеркала.

Для осуществления модуляции выходного сигнала реальные схемы требуют специальной юстировки, в результате которой могут существовать не только основная, но и дополнительная картины интерференции, разнесенные по углам. Таким образом, возникнут дополнительные каналы выхода энергии, и модуляция станет возможной. Поэтому в качестве дополнительного условия можно потребовать обязательного наличия в интерферометре не менее двух дополнительных друг другу каналов выхода излучения.

#### Литература

- [1] P. Coqnes. Rev. d'Opt., 38, 416, 1959.
- [2] P. Coqnes. Rev. d'Opt., 38, 157, 1959.
- [3] К. И. Тарасов. Спектральные приборы. «Машиностроение», М., 1975.

Поступило в Редакцию 28 апреля 1980 г.

УДК 535.4+534

## УГЛОВЫЕ СПЕКТРЫ ДИФРАГИРОВАННОГО СВЕТА ПРИ СИЛЬНОМ АКУСТООПТИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В $\text{TeO}_2$

С. Н. Антонов, М. Р. Козлов и В. В. Проклов

Угловое распределение интенсивности дифрагированного излучения в режиме брэгговской дифракции света на звуке зависит, как известно [1-3], от расходимостей падающего света и акустической волны, а также их