

ЭФФЕКТ САНЬЯКА В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

*А.Н.Гурьянов, Д.Д.Гусовский, Г.Г.Десятых,
Е.М.Дианов, А.Я.Карасик, В.А.Козлов,
В.Б.Неуструев, А.М.Прохоров*

Создан кольцевой интерферометр с использованием одномодового волоконного световода длиной 285 м, позволивший измерять угловые скорости вращения вплоть до 0,3 град/сек.

Создание стеклянных **волоконных** световодов (СВС) с малыми потерями позволило с новой стороны взглянуть на эффект Саньяка в волоконно-оптическом интерферометре и оценить его возможности для создания гироскопов [1, 2]. Как известно (см., например, [3]), эффект Саньяка состоит в том, что в результате вращения кольцевого интерферометра с угловой скоростью ω , наблюдается смещение интерференционных полос ΔZ :

$$\Delta Z = \frac{4 \cdot \omega S}{\lambda_0 c}, \quad (1)$$

где S — площадь, огибаемая световыми лучами, λ_0 и c — длина волны и скорость света в вакууме (ось вращения перпендикулярна плоскости интерферометра). Применение СВС позволяет увеличить число обходов световыми лучами заданного контура и тем самым существенно расширить возможности интерферометра для регистрации малых ω . В случае СВС, намотанного на катушку радиуса R , выражение (1) записывается в виде

$$\Delta Z = \frac{4 \cdot \omega S N}{\lambda_0 c} = \frac{2 \omega L R}{\lambda_0 c}, \quad (2)$$

где N — число витков, L — длина СВС.

На рис.1 показана схема экспериментальной установки. Свет от лазера (L) попадает на светоделительную пластину ($СП$), далее световые пучки равной интенсивности через объективы (O) вводятся в концы СВС, намотанного на катушке (K) с $R = 25$ см. Два световых пучка, циркулирующие в СВС во встречных направлениях, сходятся на светоделительной пластине, образуя при этом интерференционную картину, которая наблюдается в плоскости фотоприемника (Φ). Используя гибкость концов СВС, мы вращали только катушку в пределах углового сектора до 180° , причем концы СВС от места ввода излучения в них до центра катушки оставались неподвижными. Сдвиг интерференционных полос при вращении катушки регистрировался по относительному изменению интенсивности в выбранном с помощью диафрагмы (D) месте интерференционной картины. Перед фотоприемником помещался поляризатор ($П$), который использовался для подавления линейно поляризованного лазерного излучения, отраженного от объективов и являющегося паразитным в нашем случае. Для регистрации ΔZ лазерное излучение модулировалось прерывателем ($Пр$) и использовалась схема синхронного детектирования сигнала. Источником излучения служил He — Ne-лазер с $\lambda = 0,63$ мкм и мощностью излучения ~ 8 мВт.

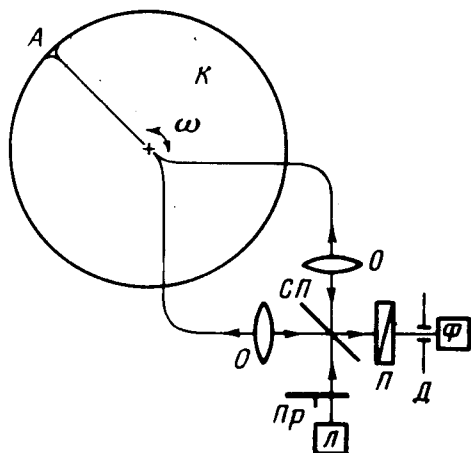


Рис.1. Схема экспериментальной установки

В наших экспериментах использовались два типа СВС с сердцевинной $\text{SiO}_2 + \text{GeO}_2$ [4.]: первый — длиной $L = 285$ м с диаметром сердцевинны $\varnothing = 5,6$ мкм, второй — с $L = 770$ м, $\varnothing = 7$ мкм. В обоих СВС разность показателей преломления сердцевинны и оболочки $\Delta n = 2,4 \cdot 10^{-3}$, показатель преломления сердцевинны $n = 1,461$. Для $\lambda = 0,63$ мкм первый СВС был одномодовым, второй — двухмодовым, причем потери на прохождении излучения в обоих СВС на этой длине волны составляли ~ 32 дБ/км.

Для получения интерференционной картины концы СВС помещались на различные расстояния относительно фокусов объективов, что приводило к различию кривизны волновых фронтов двух интерферирующих пучков света. Денситограмма такой сфотографированной интерференционной картины для одномодового СВС представлена в верхней части рис.2, а ($\omega = 0$). На этом же рисунке показана трансформация данной интерференционной картины при вращении катушки с $\omega = \pm 18$ град/сек

(знаки "+" и "-" соответствуют вращению катушки в противоположных направлениях). Видно, что при вращении катушки происходит смещение интерференционных кольцевых полос, причем характер смещения зависит от направления вращения. Вводя лазерное излучение в один из концов СВС под некоторым углом, мы получили вид интерференционной картины (рис.2, б, $\omega = 0$), который существенно отличается от изображенного на рис.2, а. На месте центрального светлого пятна появляется темное, что соответствует дополнительному сдвигу фаз между циркулирующими пучками света. Возможность введения такого искусственного сдвига фаз важна для регистрации малых ω , что будет показано ниже. Видно, что при изменении ω здесь также происходит значительный сдвиг полос, при увеличении ω до 18 град/сек темное центральное пятно трансформируется в светлое.

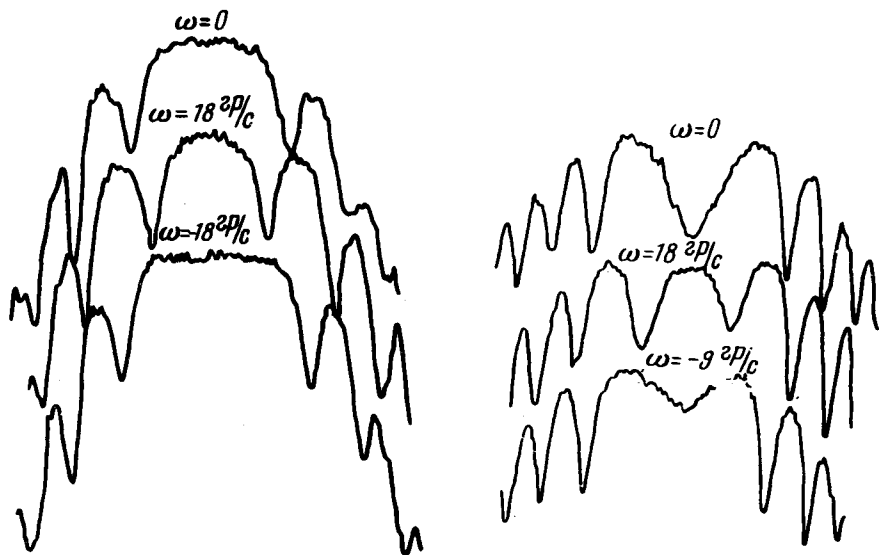


Рис.2. Вид интерференционной картины при вращении с различными угловыми скоростями

На рис.3 представлена зависимость изменения интенсивности центрального пятна интерференционной картины (ΔI) как функция ω для одномодового СВС. Условия настройки интерферометра и регистрации выбирались так, что при малых ω эта зависимость была линейной. Разница между значениями ω для максимума и минимума зависимости ΔI соответствует сдвигу на половину интерференционной полосы. Для одномодового СВС для сдвига на одну полосу из всех опытов были получены значения $\omega = 74 \pm 76$ град/сек. Подставляя исходные данные и значения 76 и 74 град/сек в (2), получим $\Delta Z = 1$ и 0,97 соответственно. Минимальная ω , измеренная при отношении сигнал — шум, равном 2, составила 0,3 град/сек, что соответствует $\Delta Z = 4 \cdot 10^{-3}$.

Эксперименты, аналогичные нашему, были проведены ранее авторами [2, 5]. Авторы [2] показали, что ΔZ является также функцией показателя преломления и дисперсии материала СВС [3], в то время как авторы [5] подтвердили формулу (2). Наши измерения с достаточной точностью показали, что ΔZ не зависит от свойств материала СВС.

Зависимость, 'аналогичная представленной на рис.3, была получена нами и для двухмодового СВС. Однако точность в определении ΔZ для него была несколько хуже, чем для одномодового. Несмотря на то, что оба встречных луча распространяются в одном и том же СВС, незначительные внешние колебания температуры приводили к перераспределению интенсивности в интерференционной картине, в то время как для одномодового СВС подобный эффект не наблюдался.

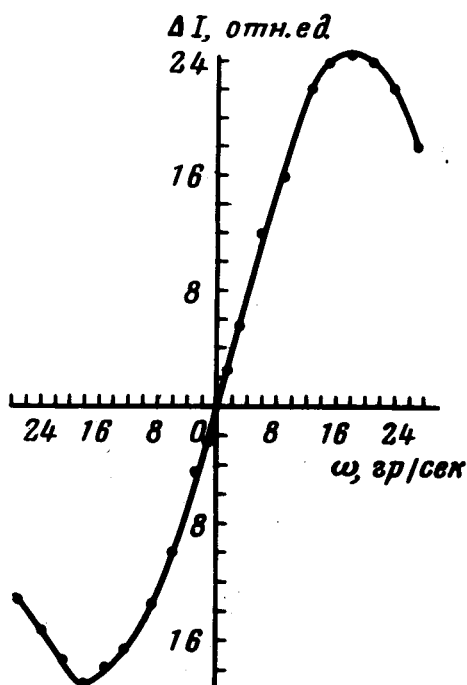


Рис.3. Зависимость относительного изменения интенсивности интерференционной полосы от угловой скорости вращения

По оценкам [6] максимальная чувствительность волоконно-оптического интерферометра составляет $\sim 10^{-7}$ град/сек, что на практике потребует увеличения длины СВС и, как следствие этого, смещения λ в ближнюю ИК область, где СВС имеют низкие потери на прохождение света [7], а также применения более сложных схем регистрации.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 июня 1980 г.

Литература

- [1] V.Vali, R.W.Shorthill. Appl. Opt., 15, 1099, 1976.
- [2] V.Vali, R.W.Shorthill, M.F.Berg. Appl. Opt., 16, 2605. 1977.
- [3] E.J.Post. Rev. Mod. Phys., 39, 175, 1967.
- [4] А.Н.Гурьянов, Д.Д.Гусовский, Г.Г.Девярых, Е.М.Дианов, М.М.Миракян, В.Б.Неуструев, А.В.Николайчик, А.М.Прохоров, В.Ф.Хопин. Квантовая электроника, 7, №8, 1980.
- [5] E.R.Leeb, G.Schiffner, E.Scheiterer. Appl. Opt., 18, 1293; 1979.
- [6] S.-C.Lin, T.Giallorenzi. Appl. Opt., 18, 915, 1979.
- [7] Е.М.Дианов. Квантовая электроника, 7, 453; 1980.