

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ФОТОПРИЕМНИК

Явление интерференции оптических волн известно давно и широко используется в оптике. Одним из предельных случаев является интерференция падающей и зеркально отраженной волн, когда образуется стоячая волна. В работе описан интерференционно-чувствительный фотоприемник, который может измерять интенсивность интерференционного поля встречных световых потоков, не разрушая его.

Интерференционно-чувствительный фотоприемник (ИЧФ) предназначен для измерения интенсивности интерференции света в интерференционном поле, образованном встречными световыми потоками. Пространственное распределение интерференционного поля, или стоячая волна, легко образуется, если направлять когерентное излучение перпендикулярно зеркалу (рис.1).

В пространстве между лазером и зеркалом прямой и отраженный световые потоки образуют стоячую волну с синусоидальным изменением интенсивности, зависящим от расстояния до зеркала. Заметим, что нулевая разность хода встречных световых потоков расположена на поверхности зеркала. Поэтому наиболее контрастная стоячая волна расположена у поверхности зеркала. Это обстоятельство было использовано Отто Винером (Otto Wiener) в 1890 году для демонстрации существования стоячих световых волн [1]. Когерентных источников тогда не было, поэтому в экспериментах Винера фотопластинка плотно прижималась фоточувствительным слоем к поверхности зеркала. После проявления на фотэмульсии, в направлении, параллельном ребру небольшого клина между зеркалом и фотопластинкой, были обнаружены темные и светлые интерференционные полосы, соответствующие узлам и пучностям стоячей волны.

Эксперименты Винера были повторены Айвесом (Ives) и Фраем (Frey) в 1933 году [2], где впервые был использован прозрачный и тонкий ($d < \lambda/2$) фотоэлектрический слой

в качестве детектора стоячей волны. Полученные Айвсом и Фраем высококачественные, по тем временам, фотоэлектрические сигналы не позволяли использовать однозеркальный интерферометр. Распространение получили интерферометры с одинаковым направлением световых потоков в области регистрации, такие как интерферометр Майкельсона. Этот интерферометр широко используется и в настоящее время, так как позволяет наблюдать интерференционную картину на экране, что удобно для настройки интерферометра. Оптические сигналы на выходе этого интерферометра удобны для регистрации традиционными фотоприемниками.

В 2002 году вакуумный ИЧФ с однозеркальным интерферометром был впервые представлен на Международной выставке LM-2002 в Новосибирском академгородке во время Международного симпозиума "Лазерная метрология и ее применение в науке, технике и повседневной жизни". Внешний вид установки с однозеркальным интерферометром

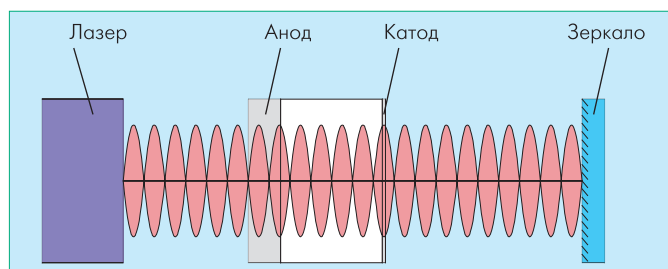


Рис.1 ИЧФ в интерференционном поле встречных световых потоков лазера

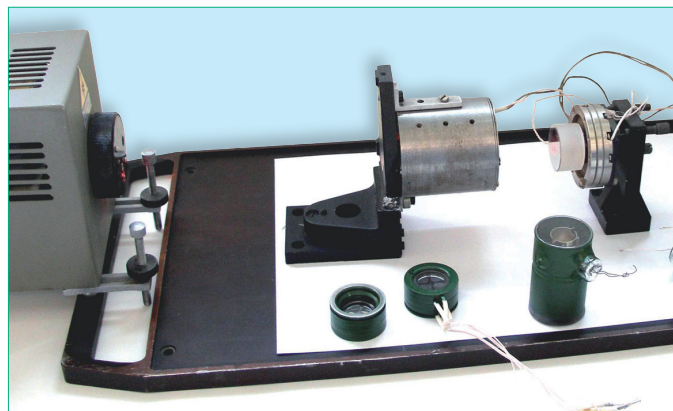


Рис.2 Макет однозеркального интерферометра. Слева направо расположены: He-Ne лазер; вакуумный ИЧФ; зеркало, закрепленное на пьезоэлементе. На переднем плане – различные модели вакуумного ИЧФ

показан на рис.2. Вакуумный ИЧФ имел высокое отношение сигнал/шум (S/N) >100 , что позволяло посетителям выставки впервые наблюдать высококачественный сигнал на выходе ИЧФ в составе однозеркального интерферометра (рис.3).

Собственно интерферометр содержит 3 элемента: лазер, вакуумный ИЧФ и зеркало. Зеркало закреплено на пьезоэлементе, обеспечивающем его пилообразное перемещение. На выходе вакуумного ИЧФ формируется синусоидальное напряжение (рис.3), пропорциональное интенсивности стоячей волны. При изменении направления движения зеркала происходит зеркальное отражение синусоиды относительно этого момента времени. Схема вакуумного ИЧФ, использованного в макете однозеркального интерферометра, изображена на рис.4 [4].

Главная особенность ИЧФ в том, что он может измерять интенсивность интерференционного поля встречных световых потоков, не разрушая его. Достигается это тем, что фотоприемник выполняется прозрачным. Толщина его фотоэлектрического слоя должна быть меньше периода регистрируемого интерференционного поля. Прозрачные оптические элементы фотоприемника не должны приводить к искажению формы волновых фронтов и интенсивностей встречных световых потоков [3].

В настоящее время созданы ИЧФ на основе фотосопротивлений [3,5], вакуумных фотоэлементов [4] и фотодиодов [6]. Не вызывает сомнения, что в ближайшее время будут

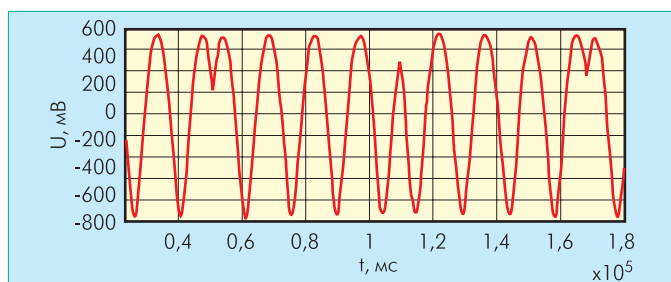


Рис.3 Сигнал на выходе вакуумного ИЧФ

созданы высокочувствительные ИЧФ для всех областей спектра. Работы в этом направлении важны тем, что ИЧФ имеют очень широкую область применения, обусловленную самой идеей, заложенной в ИЧФ.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЧФ

ИЧФ позволяет не только регистрировать интенсивность излучения, как обычные фотоприемники, но и извлекать информацию о фазе световых волн. Ранее это можно было делать только с помощью интерферометров, классифицированных М.Борном как интерферометры с одинаковым направлением световых потоков в области регистрации [1].

Развитие интерферометров со встречным направлением световых потоков в области регистрации приобретает практическое значение после создания вакуумного ИЧФ с высоким отношением сигнал/шум. Дальнейшее развитие этих работ привело к созданию вакуумного ИЧФ с четырьмя фоточувствительными площадками [7]. Этот фотоприемник (рис.5) был представлен на выставке "Оптика-2007". Он может служить базой для интерферометров нового поколения, работа которых основана на регистрации интенсивности стоячей волны.

Интерферометры такого типа отличаются от традиционных отсутствием оптических элементов для формирования опорного канала. Эти элементы исключены из оптической схемы, что уменьшает габариты, увеличивает точность интерферометра, надежность его работы и удобство юстировки. Роль опорного канала при этом выполняет падающий волновой фронт, сформированный в результате отражения от зеркала.

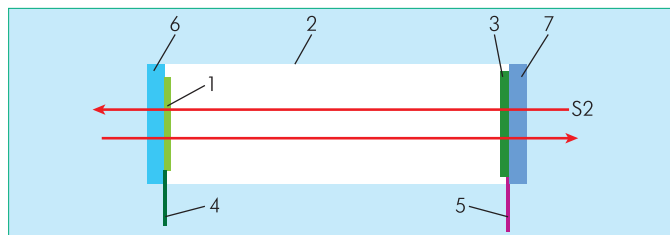


Рис.4 Вакуумный ИЧФ: 1 – прозрачный фотокатод, 2 – герметичный баллон, 3 – прозрачный анод, 4 и 5 – подводящие электроды, 6 и 7 – входное и выходное окна

Традиционные интерферометры применяются очень широко при высокоточных измерениях перемещений, шероховатости и формы поверхностей, спектральных измерениях (с преобразованием Фурье), измерениях параметров луча лазеров, напряженного и деформированного состояния объектов, конструкций и других величин, связанных со сдвигом интерференционных полос.

Перечисленные измерения могут быть выполнены на интерферометрах с встречным направлением лучей в обла-



Рис.5 Вакуумный ИЧФ с четырьмя фоточувствительными площадками

ти расположения прозрачного ИЧФ. Эти приборы будут иметь меньшие размеры и более высокую точность измерения.

Если не учитывать оптические элементы, связанные с источником излучения, новый интерферометр может состоять из ИЧФ и отражателя. При необходимости отражатель можно объединить с фотоприемником, у которого ИЧ-слои расположены в оптическом пространстве перед зеркалом. Эта идея позволяет строить селективные фотоприемники с регистрацией в нескольких спектральных диапазонах [8]. В таких фотоприемниках можно осуществить электронное управление полосами спектральной чувствительности.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИЧФ

Схема интерферометра на встречных потоках подобна схеме записи голографического изображения, в которой место фотопластинки занимает ИЧФ [9]. Таким образом, фотоприемник регистрирует электронный сигнал, пропорциональный интенсивности стоячей волны, и его изменение во времени. Этот сигнал можно зарегистрировать в ЗУ для последующего воспроизведения. Уровень технологии позволяет выполнить ИЧФ в виде многоэлементной матрицы [10]. Запись сигналов в виде кадров представляет собой запись временной последовательности голографических образов.

В отличие от фотографической регистрации, электронная регистрация не чувствительна к вибрациям и движению объ-

екта, если производится параллельная запись голографического изображения с каждого элемента матрицы. Электронная запись воспроизводится на матричном электронном транспаранте, элементы которого управляются сигналами, записанными с элементов ИЧФ.

ИЧФ открывают новый класс фотоприемников, работа которых основана на использовании квантовых и волновых свойств света. Они позволяют регистрировать информацию, которая содержится не только в интенсивности, но и в фазе световых волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Борн, Э.Вольф. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720с.
2. H.Ives and T.Fry. Standing light waves; Repetition of an experiment by Wiener, using a photoelectric probe surface. – J. of OSA, Vol.23, 1933, p.73–83.
3. Шестаков Н.П., Иваненко А.А., Сысоев А.М. Фотоприемник (варианты). – Заявка №2001131679 (приор. от 23.11.2001), Патент RU 2224331, Бюл. №5, 20.02.2004.
4. Иваненко А.А., Сысоев А.М., Шестаков Н.П. Фотоэлектронный прибор (МПК H01J 40/02). – Заявка №2002103994 (приор. от 4.02.02), Патент RU №2227341, Бюл. №11, 20.04.2004.
5. Shestakov N.P., Ivanenko A.A., Sysoev A.M. Photodetector interference field. – Proc. of SPIE, V.4900, Part Two, 2002, p.1276–1289.
6. Yigui Li et al. Precision optical displacement sensor based on ultra-thin film photodiode type optical interferometers. – Meas. Sci. Technol., Vol.14, 2003, p.479–483.
7. Иваненко А.А. и др. Квадратурный двухфазный ИЧФ для интерферометров встречных световых потоков. – Тр. Всеросс. н.-т. конф. "Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы", IV Ставеровские чтения. – Красноярск, 2006, с.339–343.
8. Иваненко А.А., Шестаков Н.П., Сысоев А.М. Фотоприемник. – Заявка №2002105463 (приор. от 28.02.2002), Патент RU 2243615, Бюл. №36, 27.12.2004.
9. Иваненко А.А., Сысоев А.М., Шестаков Н.П. Устройство для записи голограммы объекта во встречных пучках. – Заявка №2002104016, приор. от 13.02.2002, Патент RU 2222039, Бюл. №2, 20.01.2003.
10. Иваненко А.А., Сысоев А.М., Шестаков Н.П. Фотоприемник. – Заявка №2002103558 (приор. от 28.01.2002), 10.20.03; Патент RU 2239918, Бюл. №31, 10.11.2004.



Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН и Специальное Конструкторское и Технологическое бюро «Наука» Красноярского Научного Центра СО РАН

Предлагает осуществить разработку квадратурных, селективных, многодиапазонных фотоприемников для ультра-фиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов на основе прозрачных интерференционно-чувствительных слоев для оптоэлектроники, интерферометрии, спектроскопии, голографии и телекоммуникаций



Василий Филиппович Шабанов, Николай Петрович Шестаков и Александр Анатольевич Иваненко,
Академгородок, д. 50, стр. 38, г. Красноярск, 660036, Россия,
телефон 8 (3912) 494510, факс 8 (3912) 438923, E-mail: nico@iph.krasn.ru, www.kirensky.ru