

УДК 535.8

ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ–ПЕРО В ИССЛЕДОВАНИИ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

В.Б. ПАХАЛОВ

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 7 декабря 2011 г.)

Излагаются метод и результаты исследования отраженного лазерного луча от жидкокristаллической мембраны, установленной внутри низкодобротного интерферометра Фабри–Перо, при воздействии внешнего электрического поля. Оценки показывают, что по интерференционным кольцам можно определить изменение разности хода лучей в интерферометре Фабри–Перо с точностью до 0.02–0.03 нм.

Существуют различные методы исследования прозрачных или полупрозрачных физических объектов, в частности, биомембран, при внешнем воздействии [1]. Ранее был предложен метод по наблюдению многолучевой интерференционной картины в отраженном свете Фабри–Перо интерферометра (ФПИ) для измерения формы зеркал лазерных резонаторов [2,3]. В настоящей работе предлагается метод для исследования интерференционной картины луча, отраженного от мембраны на основе лиотропного жидкого кристалла (ЖК), помещенной внутрь ФПИ. Нами использовался раствор ЖК пентадецилсульфоната натрия в воде, нанесенный на отверстие диаметром 0.6 мм в тефлоновой подложке, помещенной между зеркалами интерферометра (рис.1).

На рис.1 представлена схема эксперимента. Излучение лазера (1) с длиной волны $\lambda = 0.53$ мкм, со спектральной шириной 0.1 нм, мощностью 4 мВт фокусировалось линзой (3) с фокусным расстоянием 80 мм на отверстие в тефлоне с ЖК (6), находящееся между зеркалами (4) и (5), формирующими сам ФПИ. В качестве интерферометра может использоваться обычная стеклянная кювета длиной 3 см, с идеально параллельными сторонами, перпендикулярными лучу лазера, без какого-либо покрытия: низкодобротный ФПИ. Кювета с электродами заполнена дистиллированной водой или электролитом, который специально не готовился: он образовывался при растворении малого количества ЖК при приготовлении мембраны. В некоторых экспериментах тефлон с мембраной были съемными, что позволяло измерять характеристики отдельных отсеков кюветы. Были измерены вольтамперные характеристики для каждой секции кюветы – все они линейные и зависят от количества, растворенного в воде ЖК и собственного сопротивления мембраны.

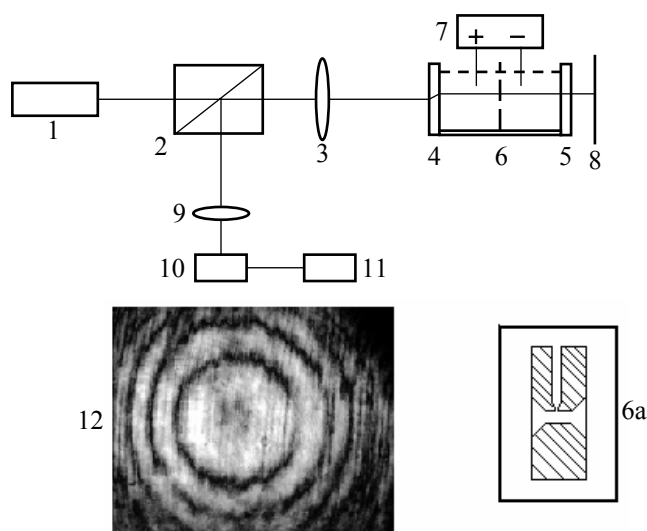


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки и картина с интерференционными кольцами на экране компьютера. Отдельно приведен рисунок тefлоновой подложки с вертикальным входным отверстием. 1 – лазер, $\lambda = 0.53$ мкм, 3,9 – линзы, 4,5 – кювета ФПИ, 6 и 6а – тefлоновая перемычка, 7 – блок питания, 8 – юстировочное зеркало, 10 – видеокамера или фототранзистор, 11 – дисплей, 12 – интерференционные кольца.

Для измерений параметров мембраны использовался луч, отраженный с помощью призмы (2) и короткофокусной линзы (9) с фокусным расстоянием 5 мм. Регистрация производилась с помощью видеокамеры или фотодиода (10), с выходом на дисплей (11), в зависимости от характера поставленной задачи. На экране или дисплее после линзы наблюдалась интерференционная кольцевая картина (12). Сложность эксперимента заключалась в получении интерференционной картины в отраженном пучке. Для точного наведения пучка временно использовалось плоское зеркало (8), приставленное вплотную к выходному окну кюветы. При подаче от источника питания (7) напряжения на электроды менялся радиус колец. В случаях, когда мембрана находилась в области перетяжки линзы (3) или вне ее, наблюдались противоположные картины – кольца расходились или сходились. Это объясняется расходимостью или сходимостью пучка. Незначительное изменение гидростатического давления из-за изменения уровня воды также приводило к изменению числа колец.

Для изучения динамики, пользуясь программой LabView, на кювету подавалось медленно возрастающее пилообразное напряжение с периодом 25 с, максимальные ток и напряжение – 0.2 мА и 50 В. Отраженный сигнал регистрировался фототранзистором с выводом на виртуальный осциллограф на основе LabView. На рис.2 приведен результат этих измерений и представлена зависимость числа колец, проходящих через центр картины, от приложенного напряжения (или тока). В эксперименте наблюдались осцилляции со средним периодом 1 с, частотой 1 Гц [4].

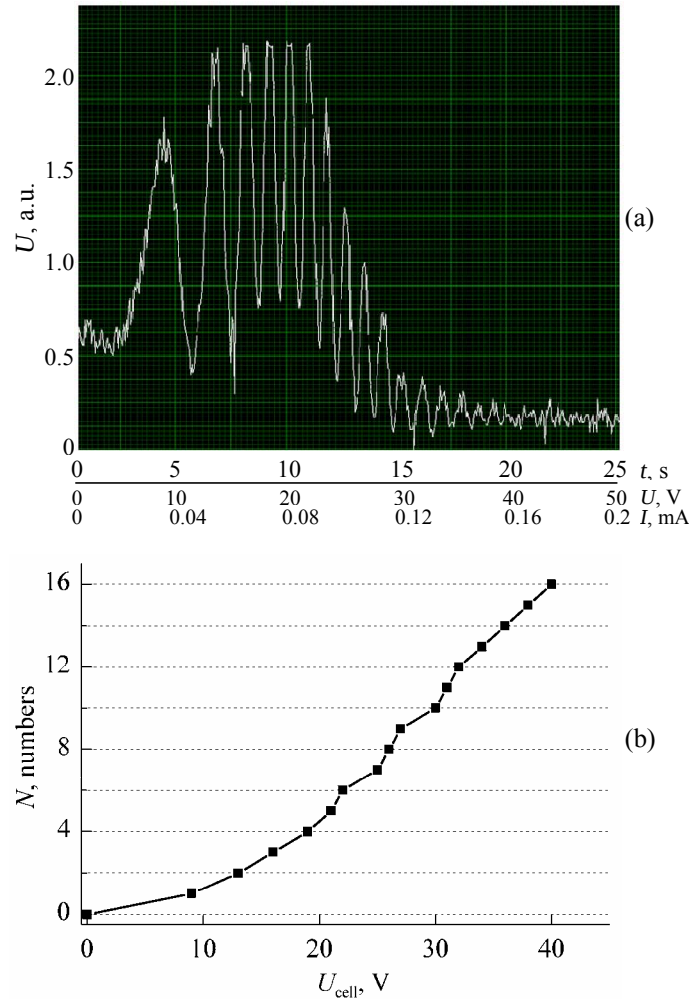


Рис.2. Изменение числа колец при приложении к кювете пилообразного напряжения с амплитудой 50 В, током 0.2 мА и периодом 25 с; на вертикальных осях – показания фототранзистора в относительных единицах (а) и порядковый номер кольца (б).

При изменении тока накачки лазера, ввиду незначительного изменения длины волны излучения, также наблюдалось изменение числа интерференционных колец, как в обычном ФПИ. В области токов выше порога генерации лазера от 180 до 250 мА при переходе с одной продольной моды на другую происходили изменения длины волны на 0.1 нм, что было измерено в независимом эксперименте [5]. По этим результатам проведена оценка изменения разности хода при изменении тока, проходящего через мембрану. Из этого соответствия следует, что изменению на одно кольцо соответствует изменение оптической разности хода на 0.1 нм, а разности фаз – на 2π (фазовый набег). Точность измерения достигает 0.2 расстояния между кольцами, т.е. можно измерить изменение

разности хода до 0.02–0.03 нм. Например, при максимальной постоянной толщине мембраны в 1 мкм этому соответствует изменение показателя преломления на 10^{-4} (с учетом двойного прохождения через мембрану). При меньшей толщине эта величина доходит до 10^{-3} . Из рис.2 следует, что при напряжении 40 В число колец доходит до 16-и, т.е. фазовый набег достигает 32π , а разность хода – 1.6–3.0 нм и изменение показателя преломления при условии постоянства толщины равно 2×10^{-3} . В реальном эксперименте меняется и толщина мембраны. Изменение показателя возможно при изгибной деформации с изменением толщины и при изменении ориентации молекул ЖК [6].

В этих экспериментах нами также впервые использовалось вертикальное боковое отверстие диаметром 0.6 мм в перемычке, доходящее до основного отверстия (ба на рис.1). Это позволяло вводить через него ЖК, световод или дополнительный электрод в мембрану.

Важно отметить, что эксперимент показал, что мы имеем дело с двухслойной наноразмерной по толщине мембраной, т.к. в прошедшем излучении под микроскопом в центре видно полное просветление, а по краям широкое темное кольцо, и при увеличении напряжения темное кольцо уменьшается, а светлое увеличивается, что говорит об уменьшении толщины. Всему этому соответствует черная мембрана в отраженном свете.

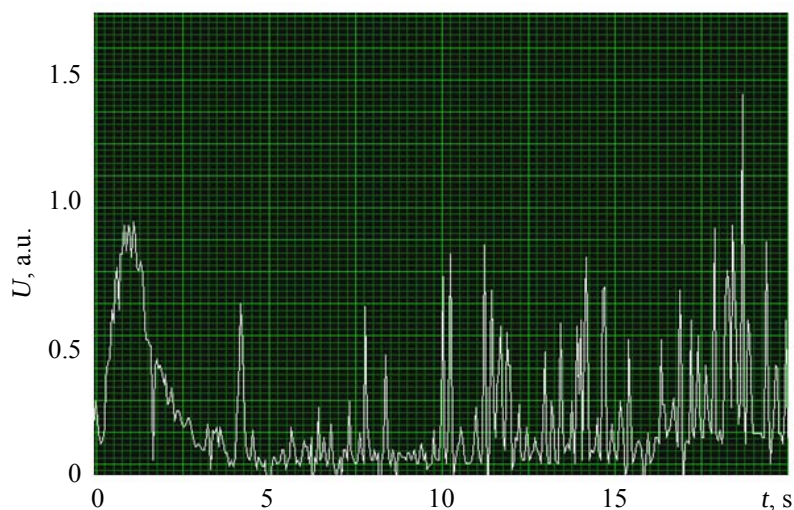


Рис.3. Наблюдаемый хаотический “стресс” мембраны.

При дальнейшем увеличении тока, начиная с 2 мА, наблюдается эффект хаотической дестабилизации мембраны (“стресс”), до пробоя мембраны, которая при понижении тока с некоторой задержкой восстанавливается снова (рис.3). Эти измерения были проведены с помощью фототранзистора, установленного в центре кольцевой картины, с подачей пилообразного напряжения, но в режиме хаотических колебаний. В этом режиме происходят сильные случайные колебания во всех направлениях. По рисунку можно оценить средний пе-

риод флуктуаций, который по предварительным измерениям доходит до 0.25 с., а частота достигает 4 Гц. В работе [7] теоретически рассмотрено подобное явление. В дальнейших работах этот эффект будет рассмотрен более подробно.

Работа частично финансировалась за счет гранта “11-1с252” Министерства образования и науки и Государственного комитета по науке Республики Армения.

Автор благодарит В.Б. Аракеляна и А.К. Геворгияна за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биологические мембраны. Методы. Под ред. **Дж.Финдлея, У.Эванса**. М., Мир, 1990.
2. **И.С.Терентьев, Ю.В.Троицкий**. Оптика и спектроскопия, **97**, 328 (2004).
3. **М.Ф.Носков**. Патент России, RU No. 2302612C1 (2005).
4. **В.Б.Пахалов**. Патент Армении, AM No.2569 A(2011).
5. **В.Б.Пахалов**. Письма в ЖТФ, **36**, 14 (2010).
6. **П.Де Жен**. Физика жидких кристаллов. М., Мир, 1977.
7. **P.Sens, H.Isambert**. Phys. Rev. Lett., **88**, 128102-1 (2002).

ՖԱԲՐԻ-ՊԵՐՈՒ ԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՄԵՋ

Վ.Բ. ՊԱԽԱԼՈՎ

Ներկայացված է ցածր բարորակությամբ Ֆաբրի-Պերոյի ինտերֆերաչափի ներսում տեղադրված հեղուկ բյուրեղային թաղանթից անդրադարձած լազերային ճառագայթի ուսումնասիրման մեթոդ և այդ թաղանթին կիրառված արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցության փորձարարական հետազոտումը: Գնահատականները ցույց են տալիս, որ ինտերֆերենցիոն օղակների միջոցով կարելի է որոշել ընթացքի տարբերության փոփոխությունը 0.02–0.03 նմ-ի ճշտությամբ:

FABRI-PEROT INTERFEROMETER IN INVESTIGATION OF LIQUID CRYSTAL MEMBRANES

V.B. PAKHALOV

We present results of study of a laser beam reflected from a liquid crystal membrane embedded into the low-finesse Fabri-Perot interferometer and influenced by an external electric field. It is shown that using interference rings one can determine the alteration of path difference in the interferometer with an accuracy of 0.02–0.03 nm.