**Многослойные полимерные структуры – на пути к оптическим компьютерам**

**Шишкин Максим Павлович**

(Нижний Новгород, МАОУ “Лицей 82”, 11 класс)

Афанасьев А.В., научный сотрудник ИПФ РАН

В течение нескольких последних десятилетий учёные изучают и разрабатывают многослойные оптические структуры – устройства для управления светом. Наиболее интересными и перспективными среди них являются брэгговские зеркала [7]. Чаще всего для их производства требуется дорогостоящее оборудование, при этом используются редкие и токсичные материалы. Производство основано на технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, при которой в рабочей камере установки необходимо поддерживать сверхвысокий вакуум ($10^{-8}$ Па) [2].

Новые полимерные материалы, которые дешевле полупроводников, проще в обработке, менее токсичны и т.д., видятся хорошей заменой полупроводниковой технике [3]. Тем более, что в полимерах можно хорошо менять их свойства, добавляя те же активные элементы (типа ионов, на которых работают лазеры), создавая из самих молекул органические активные среды (типа красителей) [5]. Управление светом – возможность создавать элементы для полностью оптического компьютера, т.е. не потребуется сначала преобразовывать свет из оптоволокна в электрические импульсы, их обрабатывать, а потом возвращать обратно в оптические импульсы [1].

Гипотеза работы – возможно ли создать при помощи простых технологических операций на основе распространенных полимеров многослойную структуру для управления светом.

Целью работы стало создание многослойной полимерной структуры с микромасштабными и наномасштабными толщинами (сотни нанометров), способную преобразовывать оптическое излучение.

Объектами исследования являются: 1 граница раздела 2 сред, 2 границы раздела (плоскопараллельная пластинка), несколько слоев, периодическая брэгговская структура.

Предметом исследования стало влияние многослойных полимерных структур на отражение или переключение светового потока в зависимости от приложенного внешнего напряжения или интенсивности света.

В результате проведения исследования были получены новые знания, которые будут использованы для дальнейших исследований.

Многослойные полимерные структуры позволят управлять световым потоком для каких-то приложений (сенсоры давления, температуры), создавать покрытия для невидимости или идеального отражения, переключения светового потока в зависимости от приложенного внешнего напряжения или интенсивности света.

В работе используются два полимера: ПММА(Полиметилметакрилат) и ПС(Полистирол).

В работе разрабатываются два пути для создания многослойных полимерных структур. Первый – последовательное нанесение слоёв одного или нескольких полимеров на центрифуге с подбором концентрации растворенных полимеров, типа растворителя и количества оборотов центрифуги. Этот метод называется технологией спин-коатинга – покрытия вращением [4]. Второй – создание изначально крупномасштабного “бутерброда” из слоёв одного или нескольких полимеров с последующим масштабированием структуры по толщине путём многократного сдавливания и отрезания лишнего материала, не удовлетворяющего условиям отражения света, при температуре, близкой к температуре смягчения данных полимеров [6].

Во время эксперимента с центрифугой было необходимо: проработать математическую модель исследования; создать несколько образцов многослойных полимерных структур методом спин-коатинга; исследовать полученные образцы на спектрофотометре Shimadzu UV-1800; провести анализ полученных данных и выявить закономерности.

Анализ качества структуры производится при помощи микроскопа и спектрофотометра, а также с использованием имеющихся лазерных диодов и лазеров.

Спектрофотометр Shimadzu UV-1800 используется для измерения спектров пропускания образцов в диапазоне длин волн 200-1100 нм.

В ходе исследовательской работы применялись растворители (толуол, хлороформ) для изготовления растворов полимеров. Количество растворителя в одной порции не превышало 100 микролитров. Все эксперименты проводились в хорошо проветриваемом помещении с системой вентиляции, часть работы по растворению полимеров проводилась в закрытом химическом шкафу с применением защитных перчаток.

В ходе экспериментов применялись источники лазерного и ультрафиолетового излучения. Класс лазера не превышал 2. Для защиты зрения использовались защитные очки с оптической плотностью на используемый диапазон OD 6+.

При использовании центрифуги применялся защитный кожух и защитные очки от возможного вылета деталей с центрифуги.

 В процессе исследования возникла проблема возникает проблема ангармонизма вследствие наложения нескольких синусоид друг на друга. Из-за этого становится трудно определить период на графике.

Решением этой проблемы является переход от зависимостей от длины волны к зависимостям от частоты в обратных сантиметрах с помощью Фурье-функции – возникающие экстремумы для тонких пленок создают периодическую картину. Все преобразования выполнены в программе Mathcad Professional.

В ходе работы мы столкнулись с проблемой нанесения методом спин-коатинга большого количества слоёв полимера. Это объясняется тем, что качество поверхности с каждым новым слоем полимера ухудшается, становится шероховатой и мутнеет, не позволяя каждому новому слою растечься идеально.

Данную проблему можно решить, воспользовавшись вторым методом, рассмотренным в работе, а также изменением некоторых условий изготовления исследуемых структур.

Развитием работы станут исследования композитов на основе различных матриц с функциональными добавками, например, с золотохлористоводородной кислотой – HAuCl₄, а также оптимизация процесса изготовления многослойных полимерных структур при различных температурах и давлениях.

Полученные в результате работы экологически чистые полимерные оптические структуры, созданные безопасными для окружающей среды методами, можно применить для исследования новых материалов в матрицах ПС и ПММА, изготовления спектральных фильтров, в том числе меняющихся в зависимости от мощности сигнала, если показатель преломления зависит от интенсивности излучения или приложенного напряжения, создания элементов управления светом (логические оптические транзисторы), полосковых волноводов и элементов интегральной оптики.

Удалось создать качественные брэгговские структуры, содержащие более 10 слоев. Максимальная достигнутая амплитуда изменения пропускания спектральных компонент превысила 5%.

Толщина нанесённых на центрифуге слоев варьировалась от 200 до 4000 нанометров. Пространственное поперечное разрешение при создании фигур через шаблон было не хуже 40 микрон.

Список литературы

1. О. Е. Наний, Оптические передатчики, Lightwave Russian Edition, No. 2, 2003, стр. 48-51.

2. Сивухин Д. В. Общий курс физики – Оптика // М., 1980 г., 752 стр. с илл.

3. Проблемы прикладной физики: Интегральная оптика / ред. Т. Тамир; пер. с англ. В. А. Сычугова и К. Ф. Шипилова / ред. Т. А. Шмаонов // М.: Мир, 1978 г.

4. Юх П. Optical waves in layered media // John Wiley & Sons, 1991

5. Ярив А., Накамура М., "Periodic structures for integrated optics, " IEEE Quantum Electronics, Vol. 13, No. 4, 1977, pp. 233—253.

6. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах; пер. с англ. – М.: Мир, 1987 г. – 616 стр. с илл.

7. Брэгговские зеркала. 29.01.2019[Электронный ресурс].

URL:https://in-science.ru/library/article\_post/breggovskiye-zerkala (22.12.2021)