

## Многослойные полимерные структуры – на пути к оптическим компьютерам

Шишкин Максим Павлович

11 класс, МАОУ Лицей № 82 Нижнего Новгорода, Научное объединение «Школа юного исследователя» АНО ДО

«Академ клуб», ИПФ РАН

НО ШЮИ, ИПФ РАН, АНО ДО Академ клуб

Научный руководитель: А. В. Афанасьев, научный сотрудник ИПФ РАН



В течение нескольких последних десятилетий учёные изучают и разрабатывают многослойные оптические структуры – устройства для управления светом. Чаще всего для их производства требуется дорогостоящее оборудование, при этом используются редкие и токсичные материалы. Наша идея – создавать многослойные оптические структуры с использованием полимеров с разными показателями преломления, применяя доступные и экологичные технологии. В результате исследования удалось создать качественные брэгговские структуры, содержащие более 10 слоев. Максимальная достигнутая амплитуда изменения пропускания спектральных компонент превысила 5%.

Разработка, изготовление и изучение интерференционных оптических покрытий имеют довольно богатую историю. Однако не теряют своей актуальности и по сей день. Действительно, наблюдаемый переход от микро- к нанoeлектронике подстёгивается развитием оптоэлектронных устройств. Интегральная микроэлектроника заменяется интегральными устройствами по обработке оптического сигнала, вытесняющего электрический. Особенно это очевидно в системах связи и в разработке оптического компьютера. В связи с этим актуальность пассивных элементов оптоэлектроники, к которым относятся оптические покрытия, трудно переоценить. Без них не обойтись при создании мощных полупроводниковых лазеров, систем ввода оптической информации, оптических квантовых усилителей, эффективных полупроводниковых фотоприемников, солнечных элементов, активных световодов. Интерференционные покрытия применяют для получения высоких коэффициентов отражения (зеркальные, брэгговские покрытия [4]), для увеличения пропускания и контрастности (просветляющие покрытия), для спектрального и энергетического разделения и сложения оптических сигналов и их хроматической коррекции (узко- и широкополосные отрезающие фильтры), для изменения поляризации оптического излучения.

В настоящее время самым распространённым методом производства многослойных оптических структур является метод молекулярно-лучевой или электронно-лучевой эпитаксии. Для этого требуются дорогостоящее оборудование, ведь в рабочей камере установки нужно поддерживать сверхвысокий вакуум, и редкие материалы – чаще всего используются соединения кремния и галлия.

Новые полимерные материалы, которые дешевле полупроводников, проще в обработке и менее токсичны, видятся хорошей заменой полупроводниковой технике. Тем более, что в полимерах можно выгодно менять их свойства, добавляя те же активные элементы (по типу ионов, на которых работают лазеры), создавая из самих молекул органические активные среды. 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.

Целью исследования стало создание многослойной полимерной структуры с микромасштабными и наномасштабными толщинами, способной преобразовывать оптическое излучение.

В работе разрабатываются два пути создания многослойных полимерных структур. **Первый** – последовательное нанесение слоёв одного или нескольких полимеров на центрифуге с подбором концентрации растворённых полимеров, типа растворителя и количества оборотов центрифуги. Этот метод называется технологией спин-коатинга – покрытия вращением [2]. 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.

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

*Схема эксперимента с центрифугой:*

- Подготовить стеклянную подложку под образец и прикрепить его к центрифуге;
- Нанести на стеклянную подложку несколько капель из пипетки (объём 100 мкл) одного или двух растворённых полимеров (Растворитель будет испаряться, следовательно, мы будем получать слои самого полимера):
- Исследовать полученные образцы на спектрофотометре Shimadzu UV-1800, который передаёт таблицы и графики компьютеру;
- 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.

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

Для оценки качества полученных структур требовалось вычислить их толщину по формуле:

$$d = \lambda_1 \lambda_2 / (2n(\lambda_1 - \lambda_2)),$$

где  $d$  – толщина плёнки в нанометрах,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – длины волн соседних экстремумов функции в нанометрах, а  $n$  – показатель преломления вещества [1].

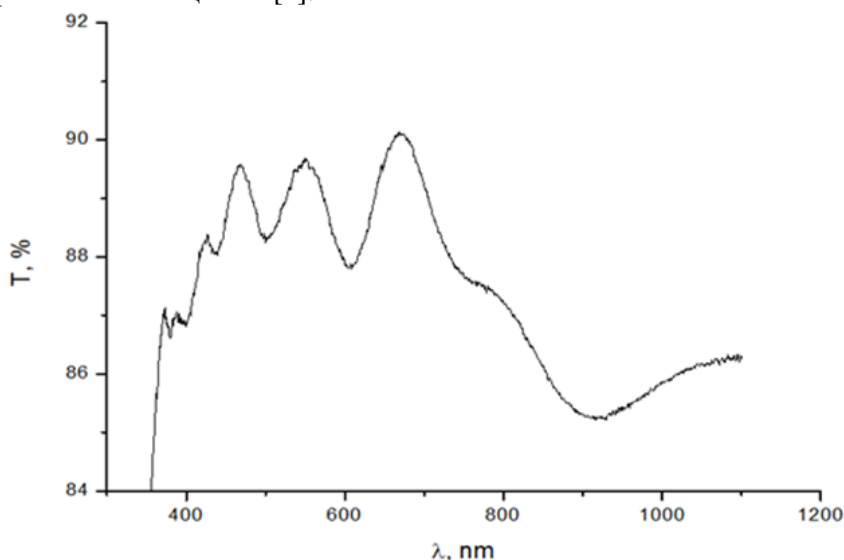
Но далеко не всегда можно легко определить период на получающихся графиках. Возникает проблема ангармонизма (на участке с длиной волны от 600 до 1000 нанометров) вследствие наложения нескольких синусоид друг на друга (рис. 1).

Решением этой проблемы является переход от зависимостей от длины волны к зависимостям от волнового числа в обратных сантиметрах с помощью Фурье-функции [3]. Все преобразования выполнялись в программе Mathcad Professional.

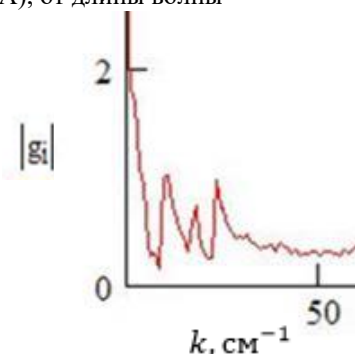
По итоговому графику (рис. 2) можно сделать вывод о том, что в полученной структуре точно присутствуют три качественных периода – слоя ПС-ПММА, которые интерферируют и дают соответствующие частоты – пики на рисунке 2. Асимптота, стремящаяся к оси ординат, – результат Фурье-преобразования изначального немодулированного спектра прибора (без образца). Её не нужно учитывать при анализе. В дальнейшем исследовании можно будет использовать более сложные Фурье-функции для более качественного анализа, так как в работе использовалось взятие быстрой Фурье-функции.

В ходе работы мы столкнулись с проблемой нанесения методом спин-коатинга большого количества слоёв двух полимеров. 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.



**Рис. 1.** Экспериментальный график зависимости пропускания света через многослойную периодическую структуру, которая содержит три периода и состоит из шести слоёв (ПС-ПММА-ПС-ПММА-ПС-ПММА), от длины волны



**Рис. 2.** График зависимости новой функции  $g_i$  от волнового числа в обратных сантиметрах

Нам удалось создать качественные брэгговские структуры, содержащие от 6 до 10 слоев. Максимальная достигнутая амплитуда изменения пропускания спектральных компонент превысила 5%, что довольно неплохо для многослойных оптических структур, полученных исследуемыми методами из рассмотренных материалов (полистирола и полиметилметакрилата).

Толщина нанесённых на центрифуге слоев варьировалась от 200 до 4000 нанометров. Пространственное поперечное разрешение при создании трёхмерных структур через шаблон – дифракционную решётку с периодом 20 микрометров – было не больше 40 микрон.

Развитием исследования станет изучение композитов на основе различных матриц с функциональными добавками, например, с золотохлористоводородной кислотой –  $\text{HAuCl}_4$ , 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.

#### Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики – Оптика // М., 1980, – 752 с.
2. 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.
3. Ярич А., Юх П. Оптические волны в кристаллах; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 616 с.
4. Брэгговские зеркала. 29.01.2019[Электронный ресурс]. URL:[https://in-science.ru/library/article\\_post/breggovskiye-zerkala](https://in-science.ru/library/article_post/breggovskiye-zerkala) (22.12.2021)