

Разработка и исследование способа напыления тонких диэлектрических пленок для создания многослойных дифракционных оптических элементов

С.А. Фомченков^{а,б}, С.Д. Полетаев^{а,б}

^а Институт систем обработки изображений - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 443001, ул. Молодогвардейская, 151, Самара, Россия

^б Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

Аннотация

Исследован процесс магнетронного напыления диэлектрических пленок оксида цинка ZnO с помощью установки магнетронного распыления с постоянным источником тока «Caroline D12A», модернизированной с целью возможности распыления диэлектрических мишеней. Показано, что данный способ напыления диэлектрических пленок позволяет получать качественные покрытия и слои, соответствующие требованиям для создания многослойных дифракционных оптических элементов.

Ключевые слова: магнетронное напыление; тонкие плёнки; дифракционные оптические элементы

1. Введение

Интерес, проявляемый к дифракционным оптическим элементам (ДОЭ), в последние годы вызван в основном перспективностью их использования в системах обработки оптических сигналов и изображений, в том числе в вычислительной оптике. Помимо традиционного применения ДОЭ в качестве спектральных селекторов, к настоящему времени разработано значительное количество типов ДОЭ, позволяющих выполнять многие другие функции: мультиплицирование и формирование пучков, распределение оптических сигналов по каналам обработки, формирование волнового фронта и т.д. [1] Оптические характеристики таких, как правило, многослойных элементов, зависят от их структуры, используемых материалов и их показателей преломления, порядка и соотношения толщин слоев и микрорельефа, внутреннего или поверхностного [2].

Основой подобных элементов являются оптически прозрачные в видимом или ИК-диапазоне диэлектрические чередующиеся пленки, нанесенные на подложку оптического качества, например кварц. С целью создания таких структур могут использоваться различные способы напыления пленок: вакуумное термическое напыление, электронно-лучевое напыление и многие другие. Но при создании оптических элементов необходимо высокое качество и точность результатов. Поэтому наиболее предпочтительным методом является магнетронное распыление. Данный метод позволяет напылять пленки с высокой скоростью, при низком давлении рабочего газа в камере, что позволяет получать очень чистые структуры [3].

В данной работе исследована возможность получения таких структур с помощью установки магнетронного распыления с постоянным источником тока «Caroline D12A», модернизированной с целью возможности распыления диэлектрических мишеней.

2. Методика эксперимента и результаты

Установка магнетронного распыления «Caroline D12A» предназначена для напыления проводящих пленок, так имеет постоянный источник тока. Установка оснащена четырьмя позициями для установки мишеней, что позволяет производить напыления четырех различных материалов за один рабочий цикл установки. Данный вариант исполнения не позволяет распылять диэлектрические пленки, так как будет происходить накопления заряда на диэлектрической мишени, что противоречит принципу магнетронного распыления. И подача мощности на магнетрон, будет приводить к пуску и быстрому прекращению распыления за очень короткое время. Для решения данной проблемы источник питания был заменен на высокочастотный генератор с рабочей частотой 13,56 МГц и максимальной выходной мощностью в 1 кВт. Данное решение позволяет накапливать заряд за один полупериод подаваемого сигнала и снимать его за второй полупериод.

Основной задачей в ходе модернизации стало разработка и оптимизация согласующего устройства между генератором и магнетроном. В результате проделанной работы были подобраны оптимальные диапазоны и соотношения компонент согласующего устройства, а именно перестраиваемой катушки и перестраиваемого конденсатора. Это позволило добиться оптимального согласования с учетом неустраняемых потерь (15 %).

В качестве мишени для напыления была выбрана мишень оксида цинка (ZnO). Зависимость показателя преломления от длины волны данного оксида представлена на рисунке 1.

В ходе работы были подобраны оптимальные параметры напыления пленки оксида цинка на подложку из кварца оптического качества. Мощность подаваемого с генератора сигнала $P = 500$ Вт, расход аргона $Q(\text{Ar}) = 2,0$ л/ч, $Q(\text{O}_2) = 0,7$ л/ч, остаточной давления в камере $p = 5 \cdot 10^{-4}$ Па, температура нагрева подложки $t = 120$ °С, скорость вращения барабана $V = 11$ об/мин. Расстояние от мишени до подложки составляет порядка 20 см.

В результате проведенных экспериментов была получена подложка с пленкой оксида цинка. Проведенный скретч-тест показал, что адгезия пленки поверхности подложки высокая. Для измерения оптических характеристик и толщины пленки была использована оптическая установка комплексного изучения свойств тонких пленок «Эллипсометр M2000DI». Измерения показали, что при напылении при вышеприведенном режиме в течение 5 минут, толщина пленки составила 50 нм. Следовательно, скорость напыления составила 10 нм/мин.

Основным требованием к оптическим пленкам является однородность и равномерность по всей поверхности [4]. Для изучения данных свойств, поверхность пленки была исследована с помощью интерферометра белого света Zygo NewView 7300. Участок исследуемой поверхности составил 351 мкм на 263 мкм. На рисунке 2(а) приведена полученная трехмерная модель поверхности. Разброс высот по исследуемой поверхности продемонстрирован на рисунке 2(б). Топография поверхности с указанием высоты представлена на рисунке 2(в). На основе исследований поверхности с помощью интерферометра можно увидеть, что в пределах указанного масштаба высота поверхности не отличается более чем на 1 нм, что указывает на высокую равномерность пленки.

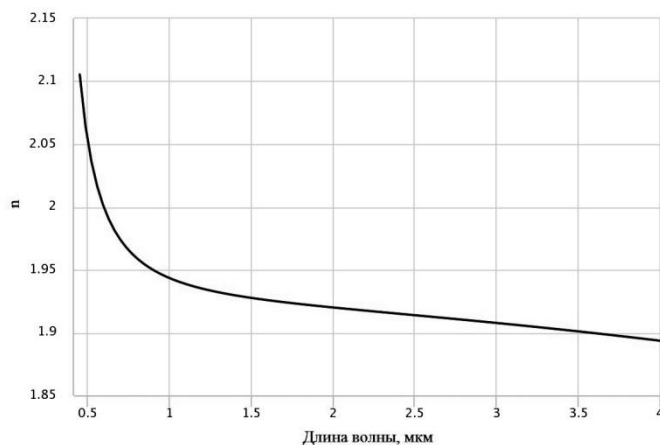


Рис. 1. Зависимость показателя преломления (n) от длины волны для пленки оксида цинка (ZnO).

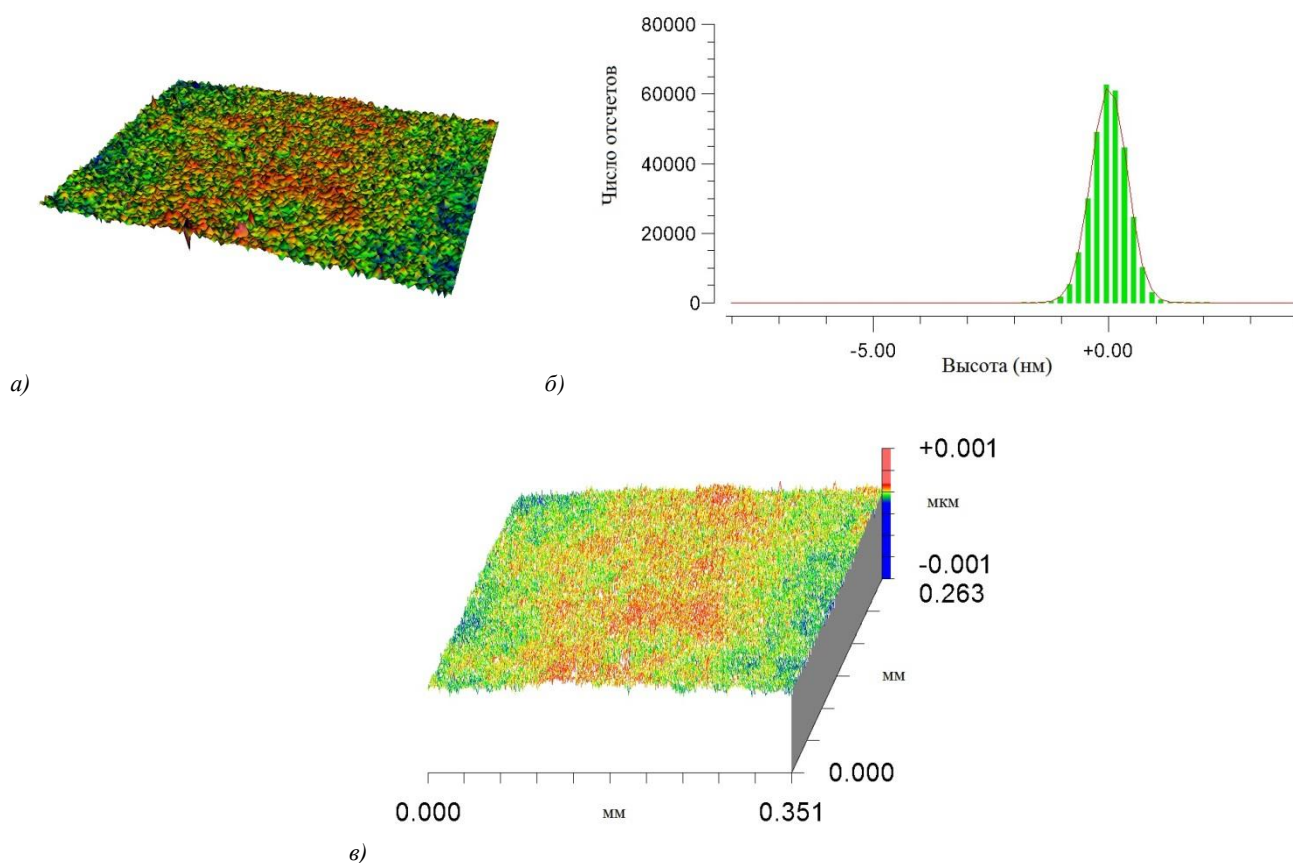


Рис. 2. Результаты исследования поверхности пленки оксида цинка (ZnO) с помощью интерферометра белого света Zygo NewView 7300: (а) трехмерная модель поверхности, (б) разброс показателя высоты по исследуемому участку поверхности, (в) топография поверхности.

3. Заключение

Проведенная в ходе работы модернизация установки магнетронного напыления позволила распылить диэлектрическую мишень и напылить пленку оксида цинка при подобранных параметрах оптимальных параметрах согласующего устройства и режимах напыления.

Исследования пленки помогли установить скорость напыления при заданном режиме, и показали высокую однородность пленки по толщине, что позволяет использовать данный способ и конкретно данный материал для напыления многослойных дифракционных оптических элементов в паре с другой диэлектрической мишенью.

Дальнейшие работы в данной области должны быть направлены на изготовление оптического фильтра с чередующейся структурой диэлектрических пленок с высоким и низким показателем преломления.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-29-11744.

Литература

- [1] Данилов, О.Б. Управляемые дифракционные оптические элементы с пленкой диоксида ванадия / О.Б. Данилов, А.И. Сидоров // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, № 11. – С. 91-96.
- [2] Быков, Д.А. Дифракции оптического пучка на Брэгговской решетке с дефектным слоем / Д.А. Быков, Л.Л. Досколович // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 590-597.
- [3] Butt, M.A. Modeling of multilayer dielectric filters based on TiO₂/SiO₂ and TiO₂/MgF₂ for fluorescence microscopy imaging / M.A. Butt, S.A. Fomchenkov, A. Ullah, M. Habib, R.Z. Ali // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 5. – С. 674-678.
- [4] Butt, M.A. Thermal effect on the optical and morphological properties of TiO₂ thin films obtained by annealing a Ti metal layer / M.A. Butt, S.A. Fomchenkov // Journal of the Korean Physical Society. – 2017. – Т. 70, № 2. – С. 169-172.