

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ПРОЗРАЧНЫХ ПЛЕНОК

© 2009 г. Д. Н. Тишко; Т. В. Тишко; В. П. Титарь, канд. физ.-мат. наук

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

E-mail: Tatyana.V.Tishko@univer.kharkov.ua

В данной работе впервые приведены экспериментальные результаты применения цифрового голографического интерференционного микроскопа (ЦГИМ) для исследования тонких (с толщинами меньше длины волны видимого света) прозрачных пленок на прозрачных подложках. ЦГИМ позволяет не только получать трехмерное изображение поверхности пленок, но и проводить количественные измерения. В качестве пленок использованы покрытия из нитрида алюминия (AlN) на акриловых подложках, которые могут быть применены для защиты изделий из акрила от воздействия окружающей среды. Исследованы поверхностные дефекты, имеющиеся на поверхности покрытий и возникшие в результате воздействия ультрафиолетового излучения на покрытие и подложку. Проведено сравнение возможностей метода классической оптической микроскопии и метода цифровой голографической микроскопии для исследования тонких прозрачных пленок. Полученные результаты подтвердили эффективность применения ЦГИМ для подобных исследований.

Коды OCIS: 180.3170.

*Поступила в редакцию 10.09.2008.*

### Введение

В последнее время интенсивно развивается научно-техническое направление, связанное с получением защитных покрытий и пленок. В процессе обработки технологий осаждения пленок возникает необходимость в визуальном исследовании и измерении их толщин. Для изучения качества покрытий широко применяются оптические микроскопы. Однако оптические микроскопы позволяют получать только двухмерные изображения. Кроме того, с помощью оптического микроскопа невозможно проводить количественные измерения (толщины пленок, уровень шероховатости, характерные размеры дефектов). Применение микроинтерферометра дает ряд преимуществ не только для исследования состояния поверхности покрытия, определения характера дефектов, но и предоставляется возможность измерения толщин по высоте уступов, образованных краем пленки и подложки. Например, микроинтерферометр МИИ-4 позволяет измерять высоту микронеровностей оптически непрозрачных материалов в диапазоне толщин от 100 до 800 нм. Однако погрешность измерений прибором довольно высока и зависит от опытности оператора. При измерении толщин тонких прозрачных покрытий (100–500 нм), полученных на прозрачной основе, например полиакриле, погрешность еще выше в связи с трудностью опре-

деления интервала между интерференционными полосами и числа интервалов из-за наложения интерференционных картин от различных поверхностей оптической пары подложка–покрытие.

До настоящего времени единственным методом, который позволял получать трехмерные изображения поверхности пленок, являлся метод электронной микроскопии. Однако этот метод не позволяет проводить количественные измерения. Особенные трудности возникают при изучении тонких (с толщинами меньше длины волны видимого света) прозрачных пленок. Поэтому проблема трехмерной визуализации тонких прозрачных пленок и измерения их параметров решена не была.

Изобретение голографии и развитие голографических методов визуализации фазовых микрообъектов в сочетании с методами цифровой обработки изображений позволило создать цифровой голографический интерференционный микроскоп (ЦГИМ), позволяющий получать трехмерные изображения фазовых микрообъектов и проводить количественные измерения [1]. ЦГИМ эффективно использовался для изучения трехмерной морфологии эритроцитов крови [2]. Тонкие прозрачные пленки также являются фазовыми микрообъектами с равномерным распределением показателя преломления. В данной работе цифровой голографический интерференционный микроскоп впервые использован для исследования

тонких прозрачных пленок (с толщинами меньше длины волны видимого света) на прозрачных подложках. В качестве пленок использовались AlN-покрытия на акриловых подложках.

### **Получение и применение нитрида алюминия покрытий из на акриловых подложках**

Изделия из полимеров с различными покрытиями находят широкое применение в качестве, например, функциональных элементов при производстве электронной аппаратуры, оптических элементов, в качестве элементов и узлов для авиации и космической техники. Тонкие покрытия находят все большее применение в тех случаях, когда наряду с прозрачностью изделия необходима прочность и стойкость к воздействию окружающей среды. Это относится к покрытиям, предназначенным для защиты поверхности пластиковых оптических материалов. Наряду с известными достоинствами линзы из таких материалов обладают недостатками, такими, как повышенная пластичность, приводящая к деформациям, низкие значения твердости и царапиноустойчивости. Поэтому пластиковые линзы, как правило, используются совместно с оптически прозрачными покрытиями, содержащими упрочняющие слои. С помощью покрытий удается придать очковым линзам устойчивость к воздействию окружающей среды.

В настоящее время представляет большой интерес использование альтернативных источников энергии и улучшение их эксплуатационных характеристик. При преобразовании энергии в солнечных батареях используется фотоэлектрический преобразователь. Фокусировка на фотоэлектрические датчики осуществляется с помощью линз Френеля, которые изготавливаются из полиакрила. Однако под воздействием климатических, экологических факторов и особенно солнечной радиации полиакрил теряет свои оптические свойства.

Высокая прозрачность в видимом диапазоне, высокая твердость и химическая инертность ко многим видам атмосферных загрязнений делают нитрид алюминия перспективным для использования на изделиях из полимеров, предназначенных для работы в условиях различных атмосферных воздействий, в том числе в условиях воздействия ультрафиолетовой радиации.

В нашей работе в качестве тонких пленок исследовались подобные тонкие AlN-покрытия на акриловых образцах. Покрытия осаждались вакуумно-дуговым способом [3]. Процесс получения AlN-покрытий методом вакуумно-дугового осаждения заключается в формировании покрытий путем

испарения Al и конденсации его на поверхности полимеров в присутствии реакционного газа N<sub>2</sub>. Нанесение покрытий выполнялось на установке серийного производства типа “Булат”, модернизированной для осаждения на подложки из полиакрила.

### **Применение цифрового голографического интерференционного микроскопа для исследования тонких прозрачных пленок на прозрачных подложках**

Цифровой голографический интерференционный микроскоп, созданный в лаборатории голографии Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина [1], состоит из трех основных блоков: голографического интерферометра, цифровой видеокамеры и компьютера. В качестве источника излучения в ЦГИМ используется He-Ne-лазер с длиной волны излучения 0,63 мкм. Система интерференционных полос в ЦГИМ получается путем интерференции двух идентичных объектных волн, прошедших по одному и тому же пути, но в разные моменты времени. Одна из этих волн зарегистрирована и восстанавливается по голограмме. Фазовые сдвиги, внесенные исследуемым микрообъектом в проходящую через него световую волну, преобразуются в отклонения интерференционных полос на его интерферограмме. Интерферограммы регистрируются с помощью цифровой видеокамеры. Оцифрованные интерферограммы передаются в компьютер, где применяются специальные методы математической обработки, позволяющие получить трехмерное изображение и проводить необходимые количественные измерения. При использовании метода интерференционного контраста для исследования микрообъектов с однородным распределением показателя преломления толщина исследуемого образца в каждой точке определяется выражением [1]

$$t(x, y) = h(x', y')\lambda/T\Delta n,$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения,  $\Delta n$  – разность показателей преломления материала исследуемого покрытия и воздуха,  $h(x', y')$  – отклонение интерференционной полосы от первоначального направления в соответствующей точке интерферограммы,  $T$  – период системы интерференционных полос. Показатель преломления используемой AlN-пленки равен 2, показатель преломления воздуха равен 1, то есть  $\Delta n = 1$ .  $h(x', y')$  и  $T$  измерялись по интерферограмме пленки при ее компьютерной обработке.

Цифровой голографический микроскоп использовался для изучения качества поверхности тонких AlN-покрытий с толщинами меньше длины волны видимого излучения на акриловых подложках. Так-

же исследовалась стойкость образцов с AlN-покрытиями к ультрафиолетовому (УФ) воздействию. Для этого образцы подвергались УФ облучению на стенде (ртутная лампа ПРК-4 с плотностью мощности излучения  $115 \text{ Вт/м}^2$  в интервале длин волн 220–360 нм).

### Результаты и обсуждение

Полиакрил без защитного покрытия при УФ облучении на стенде быстро теряет свою прозрачность. Использование AlN-покрытия предохраняет полиакрил от разрушения, однако при достижении определенного уровня облученности наблюдается образование трещин в покрытии, морщин и отслоений покрытия.

На рис. 1 и 2 представлены изображения фрагмента поверхности AlN-покрытия с поверхностными дефектами, полученные с помощью голографического интерференционного микроскопа (ЦГИМ). Средняя толщина покрытия около 0,1 мкм.

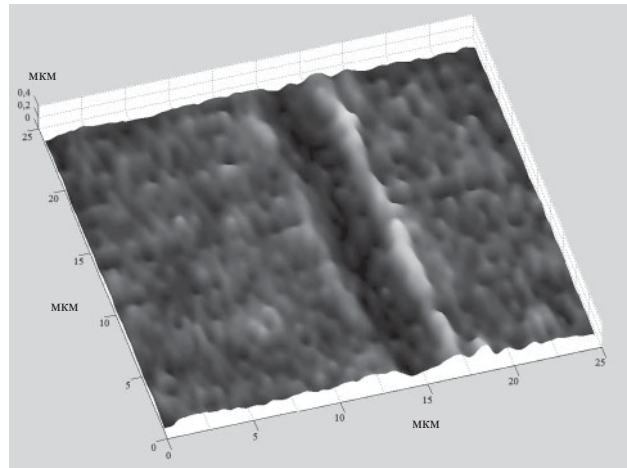
На рис. 3 представлены изображения фрагмента поверхности AlN-покрытия после воздействия УФ излучения.

Приведенные изображения ясно демонстрируют преимущества метода цифровой голографической интерференционной микроскопии. Применение ЦГИМ позволяет определить характер дефекта (выпуклость или вогнутость) и измерить размеры дефектов. Так, ширина дефекта в виде царапины на рис. 1 составляет около 2 мкм, а глубина около 0,1 мкм. То есть это дефект покрытия, а не подложки. Изображение на рис. 2 показывает, что поверхностный дефект выпуклый, максимальная высота дефекта около 0,7 мкм. На полученных изображениях (рис. 1 и 2) видно, что за исключением мест локализации дефектов поверхность покрытия ровная и однородная.

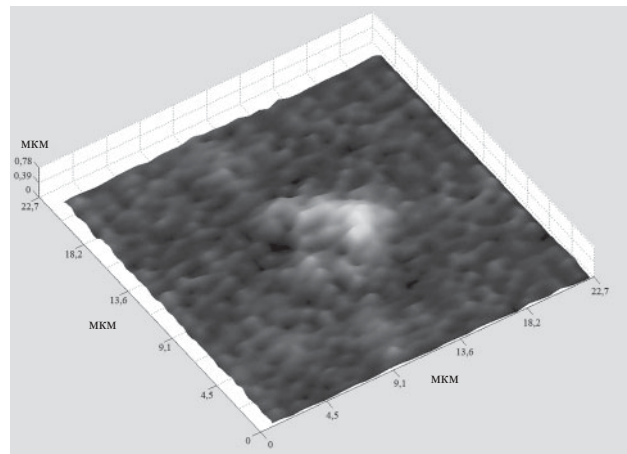
После воздействия УФ излучения на полученном изображении (рис. 3) видно, что на поверхности покрытия образовались более существенные дефекты – трещины. Измеренная глубина представленной на рис. 3 трещины составляет около 0,8 мкм. Это означает, что трещина проходит не только через толщину покрытия, но и через подложку. В данном случае покрытие не смогло защитить подложку от воздействия УФ излучения. Видно, что после воздействия УФ излучения произошли изменения поверхности покрытия и вне мест локализации трещин. Вся поверхность покрытия стала морщинистой и неровной.

### Выводы

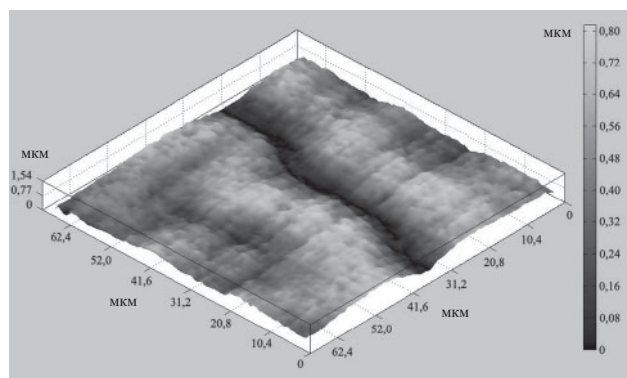
В данной работе приведены экспериментальные результаты применения цифрового голографического интерференционного микроскопа (ЦГИМ) для исследова-



**Рис. 1.** Изображение фрагмента поверхности AlN-покрытия с поверхностным дефектом, полученное с помощью цифрового голографического интерференционного микроскопа (ЦГИМ). Средняя толщина покрытия около 0,1 мкм.



**Рис. 2.** Изображение фрагмента поверхности AlN-покрытия с поверхностным дефектом, полученное с помощью ЦГИМ. Средняя толщина покрытия около 0,1 мкм.



**Рис. 3.** Изображение фрагмента поверхности AlN-покрытия после воздействия УФ излучения, полученное с помощью ЦГИМ. Средняя толщина покрытия около 0,1 мкм.

дования тонких прозрачных пленок с толщинами меньше длины волны видимого света на прозрачных подложках. В качестве пленок использованы AlN-покрытия на акриловых подложках, которые могут применяться для защиты изделий из акрила от воздействия окружающей среды. Исследованы поверхностные дефекты, имеющиеся на покрытиях и возникающие после воздействия УФ излучения. Приведенные результаты подтверждают эффективность применения цифрового голографического интерференционного микроскопа ЦГИМ для подобных исследований. ЦГИМ позволяет не только получать трехмерные изображения тонких прозрачных пленок, но и проводить количественные измерения (толщины пленок, трехмерные размеры дефектов).

Авторы выражают благодарность Национальному научному центру “Харьковский физико-технический

институт” в лице сотрудников Ю.А. Заднепровского и А.С. Куприна за предоставленные образцы пленок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тишко Т.В., Тутарь В.П., Тишко Д.Н. Голографические методы трехмерной визуализации фазовых микрообъектов // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 2. С. 48–55.
2. Новицкий В.В., Рязанцева Н.В., Степовая Е.А., Шевцова Н.М., Миллер А.А., Зайцев Б.Н., Тишко Т.В., Тутарь В.П., Тишко Д.Н. Теория и практика микроскопии эритроцита. Томск: Печатная мануфактура, 2008. 147 с.
3. Aksenov I.I., Khorosikh V.M., Lamino N.S., Ovcharenko V.D., Zadneprovskiy Yu. A Transformation of axial vacuum arc plasma flows into radial stream and their use in coating deposition // IEEE. Transaction on Plasma Science. 1999. V. 27. № 4. P. 1026.