

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РАБОЧЕГО ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Курбако Е.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Телеш Е.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных покрытий. Установлено, что увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей С–С на С–F.

Ключевые слова: фторуглеродные покрытия, прямое осаждение, давление фреона, оптические характеристики, электрофизические характеристики, трибологические характеристики, микроструктура

Введение. Фторуглеродные покрытия применяются в материалах для low-k диэлектриков, оптических, гидрофобных, антифрикционных, биосовместимых, антимикробных, защитных, химически стойких покрытий и т.п. [1]. Для синтеза фторуглеродных покрытий наиболее часто применяются ВЧ плазмохимическое осаждение, индуктивно-связанная плазма, импульсная плазма высокой плотности, в которых используются плазменные разряды в углерод- и фторсодержащих газах [2]. Для формирования фторуглеродных покрытий могут применяться и автономные ионные источники на основе ускорителя с анодным слоем (УАС) [3]. Покрытия формировались при давлении 10^{-1} Па рабочего газа $\text{CF}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}$. Содержание CF_4 составляло 10 – 70 %, ускоряющее напряжение на аноде – 1 – 3 кВ, ток разряда – 200 мА, плотность тока – 3,0 – 3,2 мА/см². Последующее увеличение содержания CF_4 приводило к насыщению поверхности фтором, образованию устойчивых связей С–F. Использование 100 % CF_4 вызывало травление поверхности осаждаемого покрытия. Содержание фторсодержащего газа также влияло на поверхностную энергию. Синтез покрытий также можно осуществить с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса [4]. В данной работе будет исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев.

Основная часть. Формирование фторуглеродных тонкопленочных покрытий проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной ионным источником на базе ускорителя с анодным слоем. Остаточный вакуум не превышал значений $(3 - 4) \cdot 10^{-3}$ Па. Рабочее давление составляло $(4 - 5) \cdot 10^{-2}$ Па. Покрытия наносились на подложки из стекла и кремния. Исследовано влияние состава рабочего газа на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев. Мощность первичного плазменного разряда составляла 200 – 230 Вт. Напряжение на диафрагме отсутствовало. Температура подложки не превышала 313 – 323 К.

Измерение оптических характеристик покрытий, нанесенных на подложки из стекла, осуществлялось в диапазоне 380 – 900 нм. Покрытия имели светло-серую окраску. Оптическое пропускание зависело от парциального давления фреона в рабочем газе (рисунок 1, а). На рисунке 1, б приведена зависимость величины пропускания на $\lambda = 555$ нм от давления фреона. Установлено, что увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей С–С на С–F.

Для измерения электрофизических параметров применяли МДП структуры. Измерения проводили на частоте 1 МГц. Установлено, что значения диэлектрической проницаемости ϵ ,

тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и удельного объемного сопротивления неоднозначно зависели от давления фторсодержащего газа (таблица 1).

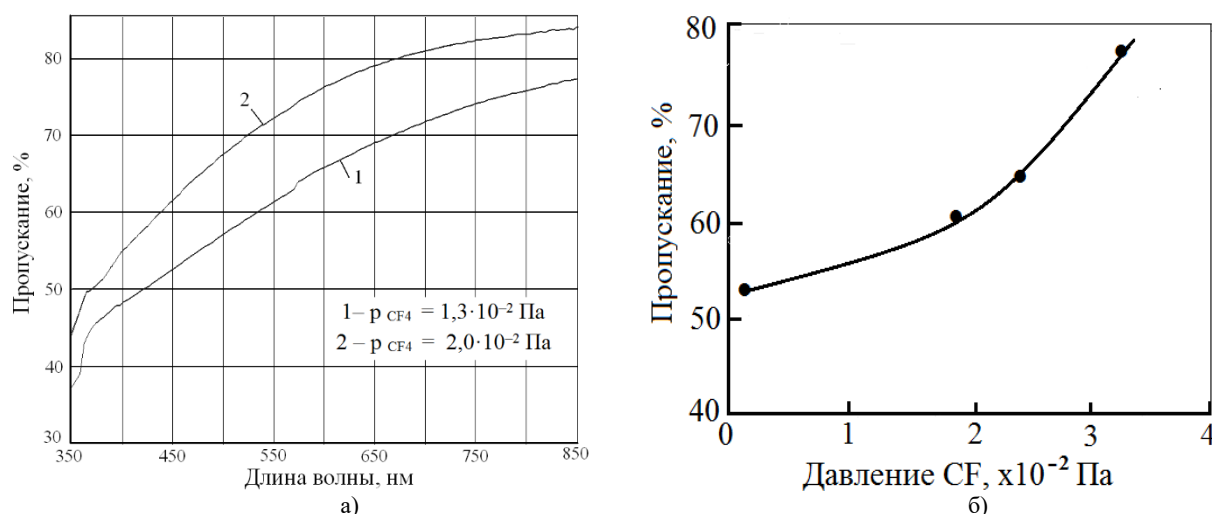


Рисунок 1 – Зависимость спектров пропускания (а) и пропускания на $\lambda = 555$ нм (б) от парциального давления фреона

Трибологические характеристики измерялись с использованием микротвердомера МТ-4. В качестве индентора применяли шарик из стали ШХ15 диаметром 4 мм. Нагрузка в условиях сухого трения составляла 0,15 Н. Установлено, что парциальное давление фреона в рабочем газе также неоднозначно влияет на коэффициент трения k фторуглеродных покрытий.

Таблица 1 – Результаты измерений характеристик фторуглеродных покрытий

№ обр.	Давление CF, Па	ε	$\text{tg}\delta$	ρ_v , Ом·м	Θ , град.	k
1	$0,11 \cdot 10^{-2}$	5,7	0,04	$7,4 \cdot 10^4$	79,3	0,42
2	$1,86 \cdot 10^{-2}$	7,0	0,12	$2,9 \cdot 10^4$	79,3	0,60
3	$2,40 \cdot 10^{-2}$	7,4	0,22	$1,1 \cdot 10^4$	79,2	0,47
4	$3,20 \cdot 10^{-2}$	4,5	0,10	$3,7 \cdot 10^4$	79,0	0,40

Угол смачивания θ поверхности фторуглеродного покрытия дистиллированной водой практически не изменялся при варьировании давления фреона и составил $\sim 79^\circ$ у покрытий, осажденных на подложки из кремния. При нанесении на стеклянные подложки угол смачивания увеличился до 90° .

Микроструктура покрытий исследовалась с применением атомно-силового микроскопа Ntegra Prima. На рисунке 2 приведены 2D (а) и 3D (б) изображения поверхности фторуглеродного покрытия, полученного при давлении фреона $3,2 \cdot 10^{-2}$ Па. Установлено, что пленки имели зернистую структуру с шероховатостью 1,04 нм и размером зерна 1,327 нм, причем эти параметры практически не зависели от парциального давления фреона.

Измерение адгезии методами отрыва липкой ленты и насечек показало, что покрытия, нанесенные на стеклянные подложки, не прошли тесты, что связано с высоким уровнем механических напряжений в покрытии. При нанесении на подложки из кремния все покрытия, полученные при различных давлениях фреона, успешно прошли тесты на адгезию (5В по шкале ASTM).

Термостойкость покрытий определялась путем нагрева образцов в вакууме $\sim 50 - 100$ Па при температуре 573 К. Установлено, что термообработка привела к незначительным изменениям параметров фторуглеродных покрытий, полученных при различных составах рабочего газа.

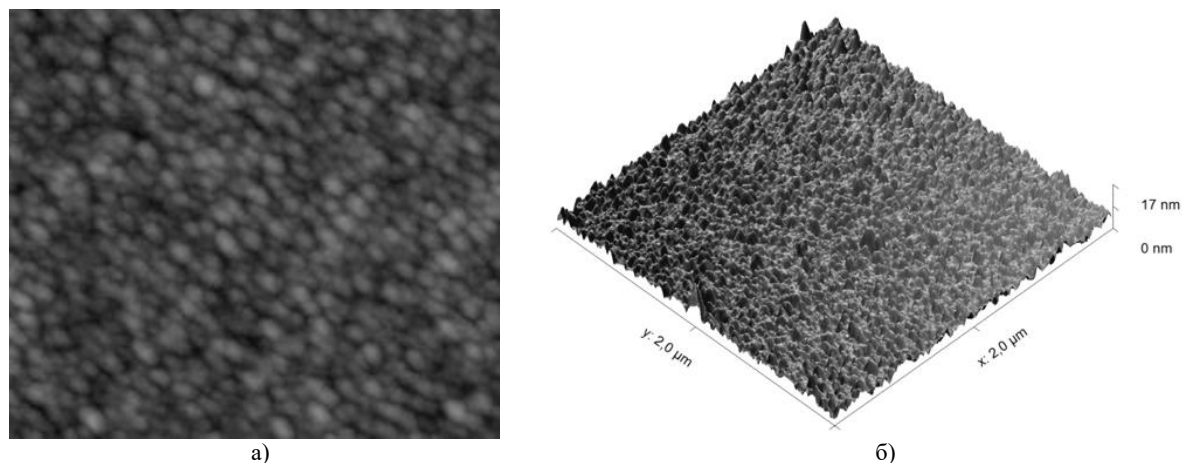


Рисунок 2 – Морфология поверхности фторуглеродного покрытия, полученного при давлении фреона $3,2 \cdot 10^{-2}$ Па

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние давления фреона на характеристики фторуглеродных покрытий. Увеличение доли фреона способствовало росту оптического пропускания фторуглеродных покрытий, что можно связать с заменой химических связей С–С на С–F. Установлено, что значения диэлектрической проницаемости ϵ , тангенса диэлектрических потерь $\tan \delta$ и удельного объемного сопротивления и коэффициента трения неоднозначно зависели от давления фторсодержащего газа.

Список литературы

1. Лучников, А.П. Микроструктура и электрофизические свойства фторполимерных пленок для МЭМС и наноэлектроники / А.П. Лучников, П.А. Лучников, А.С. Сигов // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – №12(89). – С. 34 – 40.
2. Jacobsohn, L.G Film growth and relationship between microstructure and mechanical properties of a-C:H:F films deposited by PECVD / L.G Jacobsohn, D. F. Franceschini //Diamond and Related Materials. – 2001. – 10(2). – PP. 125 – 131.
3. Елинсон, В.М. Физико-химические и антимикробные свойства поверхности полиэтилентерефталата и политетрафторэтилена при наноструктурировании ионно-плазменными методами / В.М. Елинсон, А.Н. Лямин, О.А. Подлесная // Технология машиностроения. – 2012. – № 10. – С. 44 – 48.
4. Ракицкий, А.А. Синтез фторуглеродных покрытий из ионного пучка/ А.А. Ракицкий, науч. рук. Е.В. Телеш // Электронные системы и технологии: сборник материалов 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования БГУИР. – С. 344 – 345.

UDC 621.793.18

INFLUENCE OF WORKING GAS COMPOSITION ON THE CHARACTERISTICS OF FLUOROCARBON COATINGS OBTAINED BY DIRECT ION BEAM DEPOSITION

Kurbako E.G.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh E.V. – Senior lecturer of the department of ETT

Annotation. The influence of working gas composition on the characteristics of fluorocarbon coatings was studied. It was found that increasing the freon content contributed to an increase in the optical transmittance of fluorocarbon coatings, which can be attributed to the replacement of C–C chemical bonds with C–F.

Keywords. Fluorocarbon coatings, direct deposition, freon pressure, optical characteristics, electrophysical characteristics, tribological characteristics, microstructure