

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Шевчик Е.В., Курбако Е.Г.

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

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

Аннотация. Исследовано влияние температуры подложки на характеристики фторуглеродных покрытий. Установлено, что увеличение температуры конденсации до 580 К позволило повысить оптическое пропускание и величину запрещенной зоны, износостойкость, что можно объяснить ростом степени химического взаимодействия между углеродом и фтором. Нагрев подложки свыше 580 – 600 К привел к ухудшению характеристик, что можно связать с десорбцией фтора из покрытия.

Ключевые слова: фторуглеродные покрытия, прямое осаждение, торцевой холловский ускоритель, температура подложки, оптические характеристики, электрофизические характеристики, трибологические характеристики.

Введение. Фторуглеродные тонкопленочные покрытия широко применяются в качестве 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 [2,3]. На характеристики покрытий определяющее влияние оказывают состав рабочей газовой смеси, мощность плазменного разряда, величина смещения на подложке, температура подложки и т.п. Методы, основанные на нанесении тонкопленочных покрытий из ионных пучков, позволяют изменять свойства пленок посредством регулирования энергии ионов, плотности ионного потока и его состава [4]. В качестве ионного источника целесообразно использовать торцевой холловский ускоритель (ТХУ). Потенциал зажигания разряда ТХУ составляет всего 35 – 60 В. При увеличении напряжения на аноде источника происходит значительный рост разрядного тока, вплоть до 10 А, что позволяет получить более высокие скорости осаждения. ТХУ имеют простую конструкцию, надежны в эксплуатации. Для функционирования таких устройств не нужно применения высоковольтного питания, что также упрощает их конструкцию и эксплуатацию.

В данной работе будет исследовано влияние температуры подложки на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев.

Основная часть. Формирование фторуглеродных покрытий проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А, оснащенной ионным источником на основе ТХУ. Остаточный вакуум не превышал значений $(4 - 5) \cdot 10^{-3}$ Па. Рабочее давление составляло $2,6 \cdot 10^{-1}$ Па. Ток разряда составлял 2 А, напряжение на аноде при этом составляло 78 – 80 В. Расстояние «ионный источник – подложкодержатель» составляло 125 мм. Соотношение $\text{CH}_4:\text{CF}_4$ в рабочем газе составляло $\sim 3:1$. Покрытия наносились на подложки из кремния и стекла. Исследовано влияние температуры подложки T_n на характеристики фторуглеродных тонкопленочных слоев.

Измерение оптического пропускания покрытий, нанесенных на подложки из стекла, осуществлялось в диапазоне 380 – 1080 нм. На рисунке 1, а приведена зависимость пропускания покрытий на $\lambda = 555$ нм, полученных при различных температурах подложки. Установлено, что увеличение температуры конденсации позволило повысить пропускание

до 84 – 85 %, что можно объяснить ростом степени химического взаимодействия между углеродом и фтором. Однако нагрев подложки свыше 580 – 600 К привел к резкому снижению коэффициента пропускания до 73 %, что можно связать с десорбцией фтора из покрытия.

На рисунке 1, б приведена зависимость ширины запрещенной зоны E_g от температуры подложки. В диапазоне значений $T_{\text{п}}$ от 350 до 580 К E_g увеличилась с 2,75 до 2,8 эВ, что также свидетельствует о стимулировании химического взаимодействия между углеродом и фтором. Дальнейшее увеличение $T_{\text{п}}$ привело к снижению ширины запрещенной зоны до 2,65 эВ.

Для измерения электрофизических параметров применяли МДП структуры. Измерения проводили на частоте 1 МГц. Установлено, что лучшие параметры были достигнуты при $T_{\text{п}}=513$ К (табл. 1). Дальнейший рост температуры подложки способствовал ухудшению электрофизических характеристик покрытий.

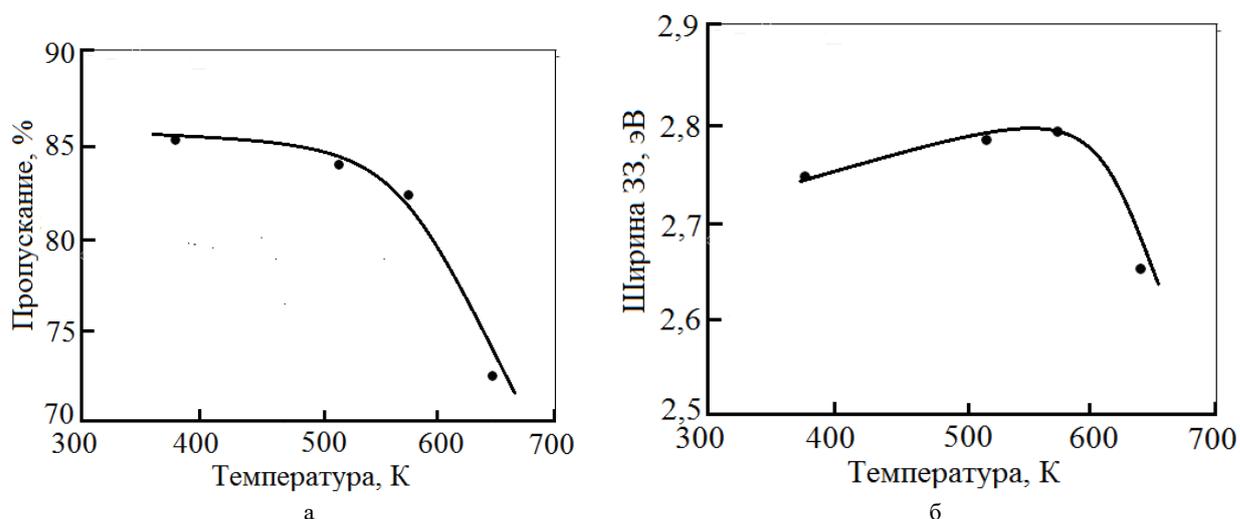


Рисунок 1 – Зависимость пропускания (а) и ширины запрещенной зоны (б) покрытий, полученных при различных температурах подложки

Таблица 1 – Результаты измерений электрофизических характеристик фторуглеродных покрытий

№, обр.	$T_{\text{п}}$, К	ϵ	$\text{tg}\delta$	ρ_v , Ом·м
1	388	3,6	0,14	$3,2 \cdot 10^4$
2	513	2,1	0,05	$1,3 \cdot 10^5$
3	588	4,5	0,26	$1,0 \cdot 10^4$
4	633	6,0	0,50	$0,7 \cdot 10^4$

Коэффициент трения k покрытий измерялся с помощью трибометра МТ-25 возвратно-поступательного типа. Нагрузка на индентор составляла 150 мН. Установлено, что износостойкость покрытий возрастала при нагреве подложки до 590 – 600 К, дальнейший нагрев привел к резкому росту k , что также можно объяснить десорбцией фтора из конденсирующегося покрытия (рис. 2, а).

Угол смачивания θ поверхности фторуглеродного покрытия дистиллированной водой измерялся с применением гониометра ЛК-1. Установлено, что температура подложки практически не влияла на θ (рис. 2, б). Покрытия, нанесенные на кремниевую подложку, характеризовались большим (до 80°) углом смачивания.

Измерение адгезии методом отрыва липкой ленты показало, что все покрытия успешно прошли тесты на адгезию.

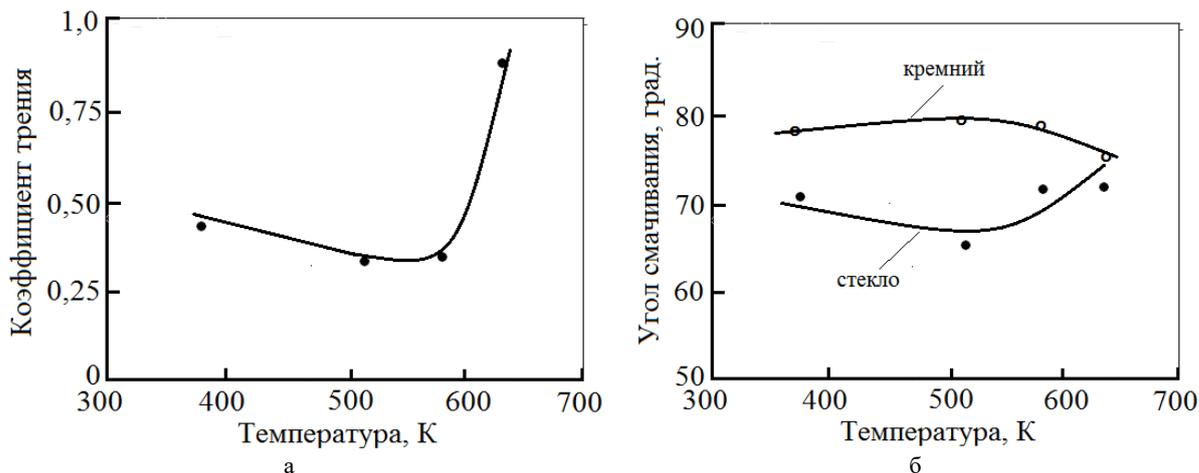


Рисунок 2 – Зависимости коэффициента трения (а) и угла смачивания (б) фторуглеродного покрытия от температуры подложки

Термостойкость покрытий определялась путем нагрева образцов в вакууме $\sim 50 - 100$ Па при температуре 573 К в течение 15 – 20 минут. Установлено, что термообработка не привела к изменению электрофизических параметров фторуглеродных покрытий. Оптическое пропускание увеличилось с 84 до 86 %, угол смачивания с 67 до 74 градусов. Термообработка привела к росту k с 0,35 до 0,58.

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние температуры подложки на характеристики фторуглеродных покрытий. Установлено, что оптимальная температура осаждения составляет 580 – 600 К.

Список литературы

1. Лучников, А.П. Микроструктура и электрофизические свойства фторполимерных пленок для МЭМС и нанoeлектроники / 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. Lee J. Characterization of fluorocarbon thin films deposited by ICP and PP // *Journal of Surface Analysis*. – 2011. – v.17. – No.3. – PP. 269 – 273.
4. Телеш, Е.В. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков/ Е.В. Телеш, Н.К. Касинский // *Контенант*. – 2014. – т.1. – №2. – С. 27 – 30.

UDC 621.793.18

EFFECT OF SUBSTRATE TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTICS OF FLUOROCARBON COATINGS OBTAINED BY DIRECT ION BEAM DEPOSITION

Perepechko E.Y., Gutenko N.D.

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

Telesh E.V. – Senior Lecturer of Department of ETT

Annotation. The influence of substrate temperature on the characteristics of fluorocarbon coatings was studied. It was found that increasing the condensation temperature to 580 K allowed to increase optical transmission and the value of the forbidden zone, wear resistance, which can be explained by the increase in the degree of chemical interaction between carbon and fluorine. Heating the substrate above 580–600 K led to a deterioration in characteristics, which can be associated with the desorption of fluorine from the coating.

Keywords. Fluorocarbon coatings, direct deposition, end-Hall accelerator, substrate temperature, optical characteristics, electrophysical characteristics, tribological characteristics.