

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВТОРИЧНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ И ПОТЕНЦИАЛА ДИАФРАГМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНА

Перепечко Е.Ю.

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

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

Аннотация. Исследовано влияние тока вторичного ионного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики тонкопленочных покрытий из титана, полученных осаждением из ионного пучка. Установлено, что увеличение положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления, росту температурного коэффициента сопротивления, оптического пропускания и адгезии.

Ключевые слова: тонкие пленки, титан, ионный пучок, ускоритель с анодным слоем, оптические характеристики, электрофизические характеристики, механические характеристики, морфология поверхности

Введение. Тонкие пленки из титана широко применяются в технике. В микроэлектронике тонкие пленки титана используются в качестве диффузионного барьера между различными металлическими слоями. При производстве сенсорных дисплеев титановые пленки используются для улучшения проводимости и долговечности дисплея. В оптической индустрии тонкие пленки титана используются для покрытия линз и зеркал. Современная промышленность требует разработки и совершенствования методов получения тонких пленок тугоплавких металлов. Широко применяется электронно-лучевое испарение и магнетронное распыление для формирования тонкопленочных покрытий из титана [1].

Новый метод нанесения тонких пленок посредством генерации потока из пучкового фокуса, формируемого в ускорителе с анодным слоем, является перспективным, т.к. позволяет управлять плотностью и энергией ионного пучка, применять дешевые блоки питания [2,3]. В данной работе будет исследовано влияние параметров вторичного ионного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики тонкопленочных покрытий из титана.

Основная часть. Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса, смонтированного в установке вакуумного напыления ВУ-1А. Покрытия наносили на подложки из стекла и кремния.

В таблице 1 приведены результаты измерений электрофизических и механических характеристик пленок титана.

Таблица 1 – Результаты измерений электрофизических и механических характеристик пленок титана

№ обр.	U_a , кВ	I_p , мА	I_n , мкА	U_d , В	d , нм	ρ_v , Ом·м	ТКС, K^{-1}	k
1	1,5	30	20	0	30	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$-3,7 \cdot 10^{-4}$	0,42
2	1,8	40	24	0	40	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,38
3	2,3	50	30	0	26	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,45
4	2,3	50	32	35	26	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,3 \cdot 10^{-3}$	0,42
5	2,3	50	35	63	25	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$-4,2 \cdot 10^{-3}$	0,48
6	2,3	50	39	95	23	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$-5,0 \cdot 10^{-3}$	0,58
7	2,3	50	44	135	20	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$-5,6 \cdot 10^{-3}$	0,29

Коэффициент трения практически не зависел от тока вторичного ионного пучка и находился в пределах 0,38 – 0,45.

Оптическое пропускание в видимом диапазоне составило при малых значениях $I_{\text{п}}$ 80 – 87 %, что также свидетельствует об окислении титана. Рост тока до 40 мкА привел к резкому снижению пропускания до 45 – 46 % (рисунок 1).

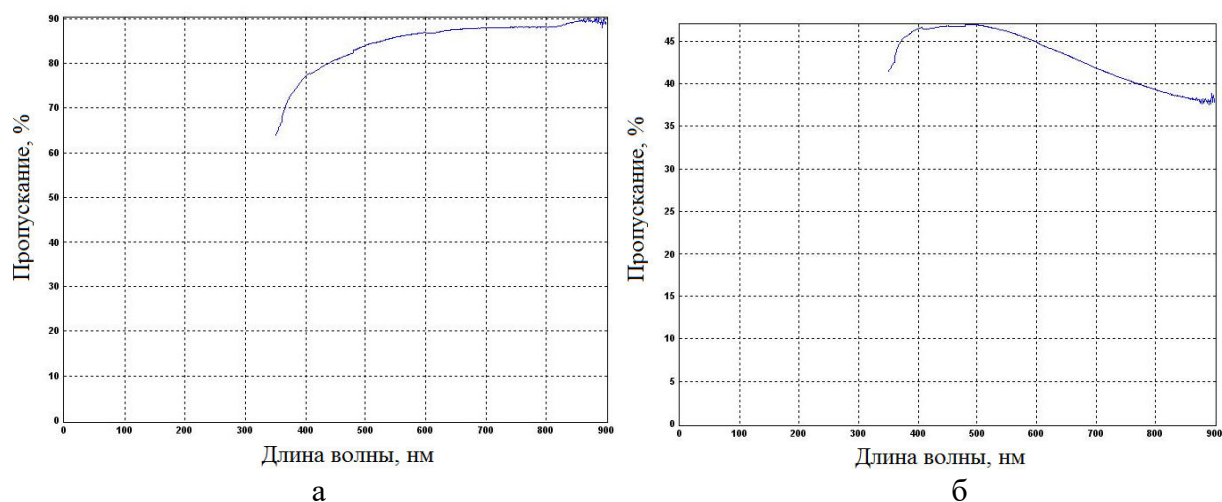


Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок титана при токе вторичного ионного пучка 20 мкА (а) и 42 мкА (б)

Наличие положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления из-за формирования более плотной структуры покрытий, т.к. энергия конденсирующихся ионов вырастала. Это также подтверждается снижением коэффициента трения до 0,29 при $U_{\text{д}} = 125$ В. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) был отрицательным, его величина увеличивалась с ростом потенциала на мишени. Это можно объяснить увеличением химического взаимодействия между атомами и ионами титана и остаточными газами из-за увеличения их энергии.

На рисунке 2 представлены спектры пропускания пленок титана, полученных при потенциале диафрагмы 35 и 125 В и токе вторичного ионного пучка 40 мкА. Установлено небольшое увеличение пропускания в видимой области спектра и значительное – в инфракрасной.

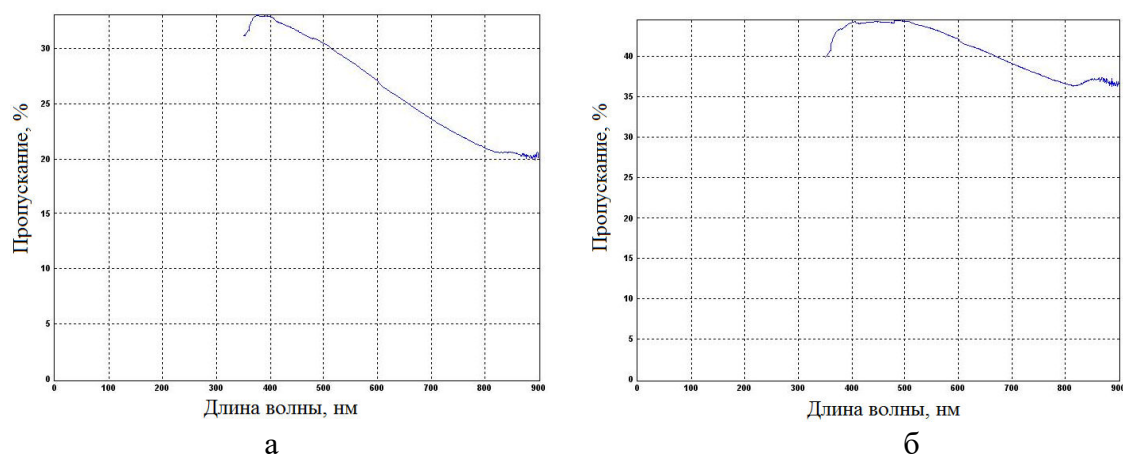


Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок титана при потенциале диафрагмы 35 В (а) и 125 В (б)

На рисунке 3 приведена морфология поверхности покрытий из титана на подложке из кремния, полученных при различных потенциалах диафрагмы.

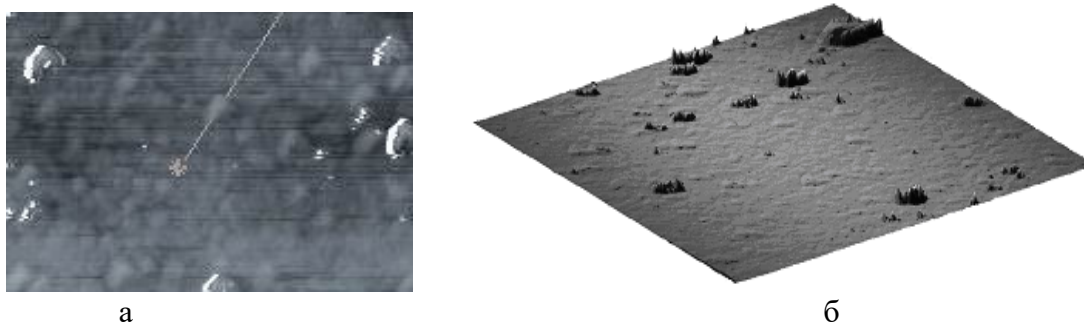


Рисунок 3 – Морфология покрытия из титана, полученного при потенциале диафрагмы 35 В (а) и 125 В (б)

Измерение адгезии покрытий на подложках из кремния методом насечек показало, что при росте I_p и U_d она составляла 4В – 5В по шкале ASTM, что также связано с повышением плотности покрытия из-за высокой энергии конденсирующихся ионов. Адгезия на стеклянных подложках была ниже – 3В – 4В.

Заключение. Проведенные исследования позволили определить влияние параметров вторичного пучка и потенциала диафрагмы на характеристики покрытий из титана. Установлено, что увеличение положительного потенциала на диафрагме способствовало снижению удельного объемного сопротивления, росту температурного коэффициента сопротивления, оптического пропускания и адгезии. В тоже время зависимость механических характеристик от вышеуказанных параметров имела неоднозначный характер.

Список литературы

1. Ибраев, Н.Х. Получение пленок титана методом магнетронного распыления для синтеза пористых пленок диоксида титана/ Н.Х. Ибраев, Д.А. Афанасьев, Т.М. Сериков, Г.С. Аманжолова// Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика». – № 4(80). – 2015. – С. 48 – 56.
2. Машиев, Ю.П. Ионно-лучевая обработка: осаждение тонких пленок из низкоэнергетичного пучка ионов / Ю.П. Машиев, С.Л. Шевчук // Труды ФТИАН, 2005. – Т.18. – С.148 – 160.
3. Гутенко, Н.Д. Формирование тонких пленок алюминия прямым осаждением из ионного пучка/ Н.Д. Гутенко, Е.Ю. Перепечко // Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 3 – 4 апр. 2025 г. / ГрГУ им. Янки Купалы, физ.-техн. фак. ; редкол.: Г. А. Гачко (гл. ред.), Н. Г. Валько (зам. гл. ред.) [и др.]. – Объем электрон. дан. 16,3 Мбайт, 40,0 уч.-изд. л. – Гродно: ГрГУ, 2025. – С. 28 – 30.

UDC 621.793.184

STUDY OF THE INFLUENCE OF SECONDARY ION BEAM PARAMETERS AND APERTURE POTENTIAL ON THE CHARACTERISTICS OF THIN-FILM TITANIUM COATINGS

Perepechko E.Y.

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

Telesh E.V. – senior lecturer

Annotation. The influence of secondary ion beam current and aperture potential on the characteristics of thin-film titanium coatings obtained by ion beam deposition was studied. It was found that increasing the positive potential at the aperture resulted in a decrease in specific volume resistance and an increase in the temperature coefficient of resistance, optical transmittance, and adhesion.

Keywords. Thin films, titanium, ion beam, anode layer accelerator, optical characteristics, electrophysical characteristics, mechanical characteristics, surface morphology