

## НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНА И МОЛИБДЕНА ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННОГО ПУЧКА

*Перепечко Е.Ю., Гутенко Н.Д.*

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

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

**Аннотация.** Исследовано влияние мощности первичного разряда, потенциала диафрагмы на скорость нанесения тонкопленочных покрытий из титана и молибдена, полученных осаждением из ионного пучка. Установлено, что скорость нанесения пленок почти линейно возрастает с увеличением рабочего давления аргона, ускоряющего напряжения и тока разряда, зависимость скорости нанесения от напряжения на диафрагме имеет немонотонный и неоднозначный характер.

**Ключевые слова:** тонкие пленки, титан, молибден, ионный пучок, ускоритель с анодным слоем, мощность разряда, скорость нанесения.

**Введение.** Для токопроводящих систем в микроэлектронике перспективно применение тугоплавких металлов вместо алюминия и поликремния в качестве материалов затворов, контактов Шоттки, барьерных слоев, обкладок конденсаторов и т.п. 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 и молибдена. Недостатки этих методов связаны с ограниченными возможностями управления энергией осаждаемых частиц, переносом вещества к подложке по закону «косинуса», низким коэффициентом использования материала мишени и трудностями контроля количества осаждаемого вещества. Химическое осаждение металлов из газовой фазы является весьма экономичным процессом, но требует высоких температур осаждения и применения дорогих прекурсоров. Более продвинутым методом является ионно-лучевой синтез непосредственно из пучков ионов [1]. Процесс осаждения пленок чистых металлов осуществляется следующим образом: в источнике происходит ионизация атомов металла, затем ионы ускоряются до энергий 10 – 100 кэВ, необходимых для эффективной их сепарации в магнитном поле, а потом замедляются перед конденсацией на подложках. Исследования осаждения таким способом пленок показали, что пленки имеют высокую адгезию, которая практически не зависит от энергии осаждаемых ионов. В то же время скорость осаждения и структура пленок зависят от энергии ионов. Оптимальной для осаждения является энергия ~ 50 эВ. При энергии ионов > 200 эВ осаждения металла практически не происходит, так как распыление преобладает над осаждением.

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]. В данной работе будут исследовано влияние технологических режимов на скорость нанесения покрытий из титана и молибдена.

**Основная часть.** Исследования осуществляли с использованием ускорителя с анодным слоем, работающего в режиме ионно-пучкового фокуса (рис. 1), смонтированного в установке вакуумного напыления ВУ-1А. Ускоритель 1 генерировал первичный пучок из ионов аргона 6, который распылял диафрагму 2 из титана или молибдена. Магнитное поле, создаваемое дополнительным магнитом 5, способствовало формированию вторичного плазменного разряда 4, состоящего из ионов тугоплавких металлов и аргона. Вторичный ионный пучок через отверстие в диафрагме попадал на подложку 3. Энергия ионов

вторичного пучка зависела от величины положительного напряжения на диафрагме  $U_d$ , которое могло варьироваться путем изменения сопротивления переменного резистора 7.

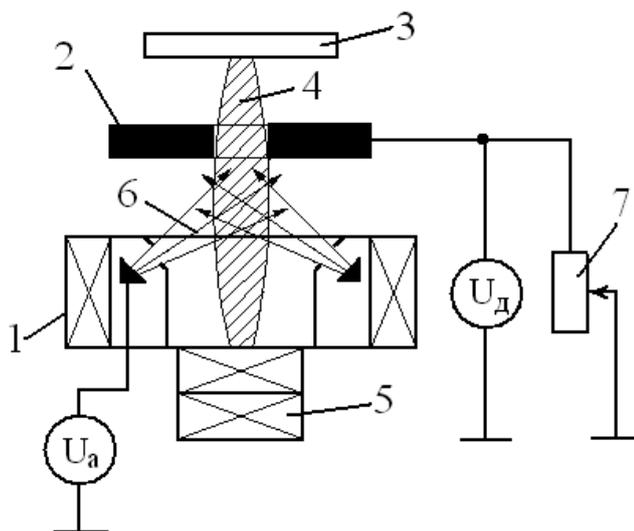


Рисунок 1 – Схема проведения исследований

Покрyтия наносили на подложки из кремния. Остаточный вакуум составлял  $2,66 \cdot 10^{-3}$  Па, давление рабочего газа –  $(2,6 - 3,5) \cdot 10^{-2}$  Па. Толщина пленок измерялась с помощью микроскопа МИИ-4. Подложка располагалась на расстоянии 15 мм от диафрагмы. Было проведено исследование влияния мощности первичного разряда и напряжения на диафрагме на скорость нанесения пленок тугоплавких металлов. Установлено, что скорость нанесения пленки титана почти линейно возрастает с увеличением рабочего давления аргона, ускоряющего напряжения и тока разряда (рис. 2, а), что объясняется ростом концентрации ионов титана во вторичном пучке.

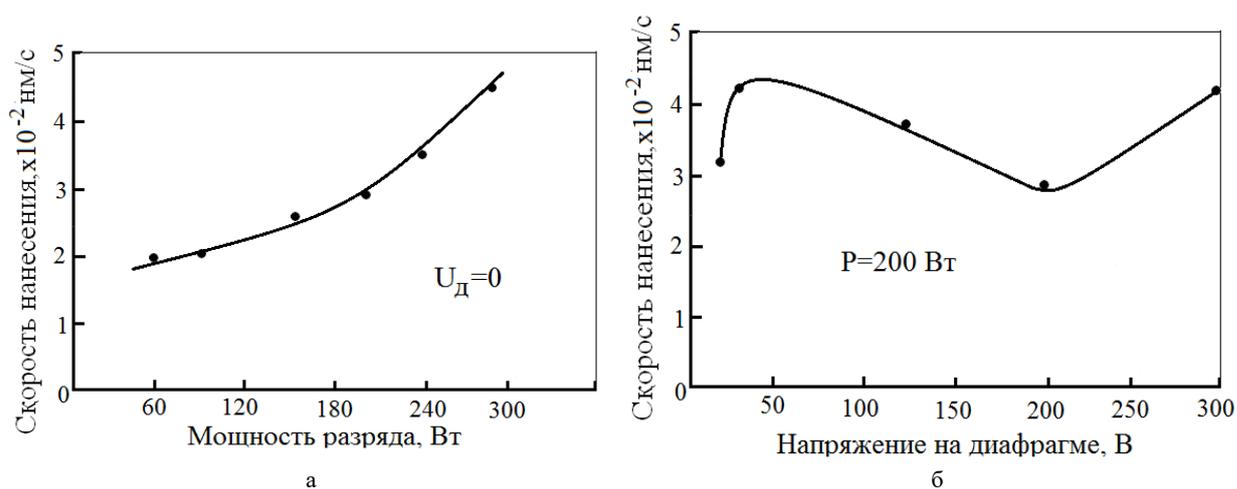


Рисунок 2 – Зависимость скорости нанесения пленок титана от мощности разряда (а) и напряжения на диафрагме (б)

В тоже время зависимость скорости нанесения от напряжения на диафрагме  $U_d$  имеет немонотонный и неоднозначный характер (рис. 2, б). При напряжении мене 200 В наблюдается небольшое снижение скорости нанесения, что связано с торможением ионов титана электрическим полем между положительно заряженной диафрагмой и заземленным ионным источником. Дальнейшее увеличение  $U_d$  способствует росту степени ионизации

распыленных атомов титана и плотности тока во вторичном ионном пучке и как, следствие, к увеличению скорости нанесения.

На рисунке 3, а приведена зависимость скорости нанесения тонких пленок молибдена от мощности первичного ионного пучка. Также наблюдается квазилинейный рост скорости. Следует отметить, что скорость нанесения молибдена выше, чем для титана, что связано с меньшим коэффициентом распыления последнего. Зависимость скорости нанесения от напряжения на диафрагме также имеет сложный характер, что можно объяснить конкурирующими процессами торможения ионов и ростом их концентрации.

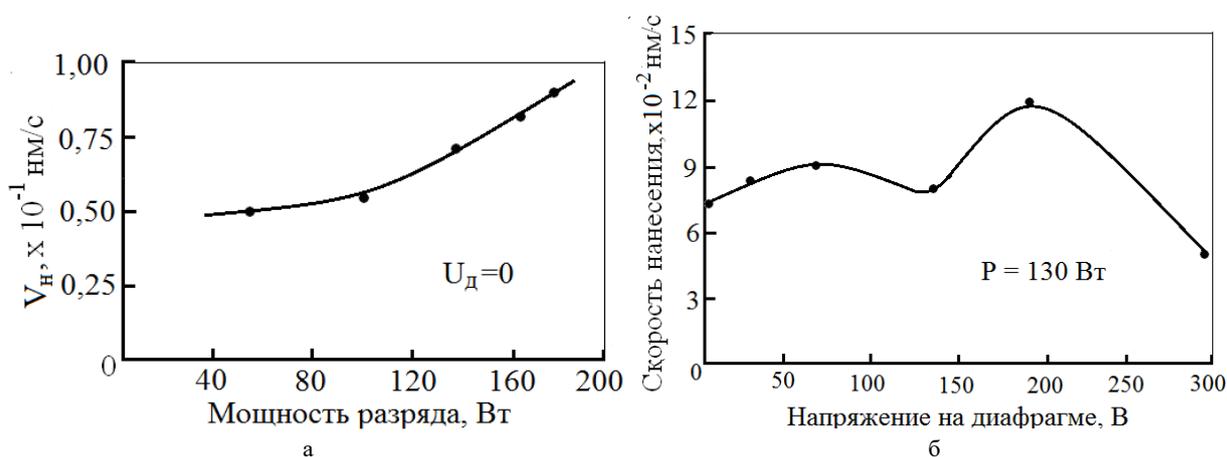


Рисунок 3 – Зависимость скорости нанесения пленок молибдена от мощности разряда (а) и напряжения на диафрагме (б)

**Заключение.** Проведенные исследования позволили определить влияние технологических режимов на скорость нанесения. Установлено, что  $V_n$  монотонно росла с увеличением мощности первичного ионного пучка. Наличие напряжения на диафрагме привело к снижению скорости. В тоже время зависимость скорости нанесения от напряжения на диафрагме имела немонотонный и неоднозначный характер.

### Список литературы

1. 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.
2. Телеш, Е.В. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков /Е.В.Телеш, Н.К.Касинский// Контенант, 2014. – Т.13. – №2. – С.27 – 30.

UDC 621.793.184

## DIRECT ION BEAM DEPOSITION OF TITANIUM AND MOLYBDENUM COATINGS

*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 the primary discharge power and the diaphragm potential on the rate of deposition of thin-film coatings of titanium and molybdenum obtained by ion beam deposition was investigated. It was found that the rate of film deposition increases almost linearly with an increase in the working pressure of argon, accelerating voltage and discharge current; the dependence of the deposition rate on the voltage on the diaphragm is non-monotonic and ambiguous.

**Keywords.** Thin films, titanium, molybdenum, ion beam, anode layer accelerator, discharge power, deposition rate.