

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАСПЫЛЕНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЛЩИНУ И СОСТАВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПЛЕНОК

В.В. Петухов, А.А. Гончаров*, В.А. Коновалов, Д.Н. Терпий, В.А. Ступак*

Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск

**Донецкий национальный университет*

Украина

Поступила в редакцию 14.12.2005

Пленки TaV₂ были синтезированы ВЧ магнетронным распылением мишени TaV₂ на стеклянные и ситалловые подложки. Исследовано влияние параметров распыления магнетронной распылительной системы на состав и толщину покрытий методами фотометрии и вторичной ионной масс-спектрометрии. Показано, что для получения стехиометрического состава и максимальной толщины необходимо предварительно определять величины оптимального давления рабочего газа, расстояния от мишени до подложки и затем размещать образцы в зоне равномерного распределения потока.

Работа выполнена в рамках госбюджетных научно-исследовательских тем в соответствии с координационными планами МОиН Украины (номера госрегистрации проектов: № 0100U001544 и № 0103U003509).

ВВЕДЕНИЕ

Технологии нанесения тонких пленок становятся все более важными для получения материалов с различными физико-механическими и трибологическими свойствами. Тонкопленочные покрытия находят широкое применение в машиностроении, медицине и микроэлектронике. Боридные пленки хорошо известны как достаточно твердые материалы с большим сопротивлением эрозии, коррозии и окислению.

При исследовании пленок диборидов переходных металлов, полученных ВЧ магнетронным распылением, обнаружено достаточно существенное влияние режимов распыления и осаждения, а также геометрии распылительной системы на состав и структуру полученных пленок [1 – 4]. Как показывают литературные данные по данному вопросу, проблема влияния состава мишени на преимущественное распыление компонентов мишени в настоящее время остается открытой. В работе [5] сделан анализ экспериментальных данных по преимущественному распылению двухкомпонентных мишеней сплавов переходных металлов при бомбардировке ионами инертных газов средних энергий 1 – 4 кэВ, в работе [6] рассматривается распыление мишеней боридов переходных металлов при низких энергиях инертного газа.

Условия и процессы массопереноса распыленного материала мишени к поверхности конденсации, определяют состав и структуру получаемых покрытий. Принципиальная возможность их описания обсуждалась в работе [7, 8]. В работе [9] показано что, используя различные режимы и технологии напыления, можно получать боридные пленки с широким диапазоном физико-механических характеристик.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДИКА

Целью данной работы являлось исследование влияния геометрии распылительной системы и режимов распыления на процессы получения пленок TaV₂ заданного состава.

Использовалась горизонтальная ВЧ распылительная система [10] на базе планарного магнетрона (рис. 1). Блок подложкодержателей был электрически изолирован от корпуса установки. Источником ВЧ мощности являлся генератор УВ-1 (13,56 МГц; 1 кВт), подключенный к нагрузке посредством двух параллельных Г-контуров из реактивных элементов. Основные характеристики РС приведены в [10, 11].

Распыление мишени проводилось в плазме Ar⁺. Давление остаточных газов в камере перед напылением составляло 3×10⁻³ Па. Во

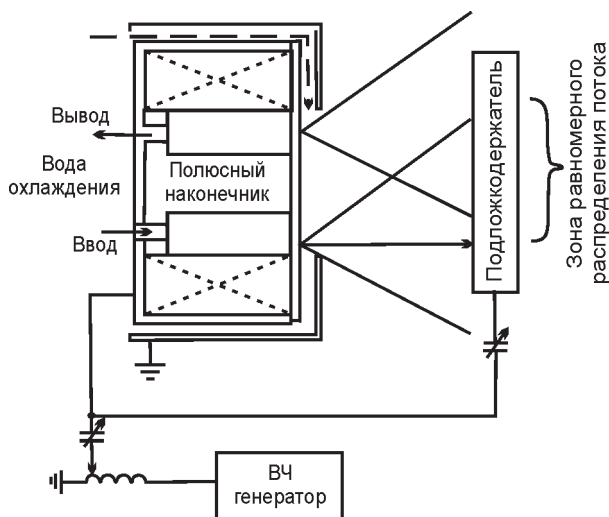


Рис. 1. Схема установки.

время нанесения в определенных интервалах варьировались: давление рабочего газа – 0,65; 0,32 и 0,18 Па; мощность ВЧ генератора – 200 ÷ 600 Вт; время нанесения – 5 ÷ 40 мин. В качестве подложек использовались ситалл и стекло.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общепризнанно [9, 12], что для ионно-плазменных РС атомарная фракция в потоке осаждения составляет более 90% и ее доля повышается при уменьшении энергии бомбардирующих ионов. При этом распыленные атомы будут обладать энергией, величина которой, при низких энергиях бомбардирующих ионов (< 500 эВ) по порядку величины сравнима с энергией связи атомов в исходном веществе и находится в интервале 2 ÷ 15 эВ.

Перенос распыленного вещества от мишени к поверхности конденсации в системах с ионно-плазменным распылением происходит в условиях, при которых существенную роль играют столкновительные процессы (в первую очередь с атомами рабочего газа). В результате чего энергия приходящих на подложку атомов может отличаться от их начальной энергии. Величины потоков распыления и осаждения также могут различаться. Плотность потока распыленных атомов, достигших подложки, зависит от длины свободного пробега и величины расстояния “мишень – подложка”.

Если масса атомов распыляемого материала больше массы атомов рабочего газа, то основным процессом возвращения распыленных атомов на мишень является обратная диффузия. Если масса распыляемых атомов меньше массы атомов рабочего газа, то основным процессом возвращения частиц является обратное рассеяние.

При $p_0 d \leq L_a$ (p_0 – давление газа, приведенное к $T = 273$ К, d – расстояние от мишени до поверхности конденсации, L_a – средняя длина направленного пробега распыленных атомов при единичном давлении) все распыленные атомы достигают поверхности конденсации.

В области $p_0 d > L_a$ распыленные частицы возвращаются на мишень, как за счет обратного рассеяния, так и за счет обратной диффузии. Для выбора оптимального технологического режима важно определить давление, при котором начинается процесс обратной диффузии. Для этого обычно используется формула $p_0 \leq L_a/d$.

Таким образом, существенным фактором для обеспечения высокой равномерности является выбор расстояния от мишени до приемной поверхности и давления, при котором идет процесс распыления.

В случае, распыления многокомпонентной мишени, в потоке распыления присутствуют атомы различных сортов, и при одном и том же значении $p_0 d$, для распыленных атомов различных масс, будут реализовываться различные условия переноса через разрядный промежуток. В результате состав осаждаемых пленок может существенно отличаться от состава мишени [13].

Для экспериментального определения оптимальных условий нанесения покрытий (в частности, параметра $p_0 d$), при которых формируется равномерная и максимальная по толщине пленка, проводился синтез при различных давлениях рабочего газа и различном радиальном удалении подложки от зоны равномерного распределения потока.

На рис. 1 показана такая зона, внутри которой толщина покрытия изменялась не более чем на 5%. С увеличением расстояния от этой зоны толщина пленок, их равномерность, состав начинали отличаться от полу-

ченных пленок в зоне равномерного распределения потока.

Напыление проводилось на стеклянные подложки с закрепленными на них, на различном расстоянии от проекции центра мишени ситалловыми пластинами при мощности 600 Вт в течение 5 мин при давлениях 0,18; 0,32 и 0,65 Па. Стеклянные подложки использовались для построения профилограмм толщины покрытия, а на ситалловых пластинах проводился ВИМС-анализ.

Как показали профилограммы (рис. 2), наибольшие по толщине покрытия формировались при давлении 0,32 Па и расстоянии до мишени 120 мм.

I , отн. ед.

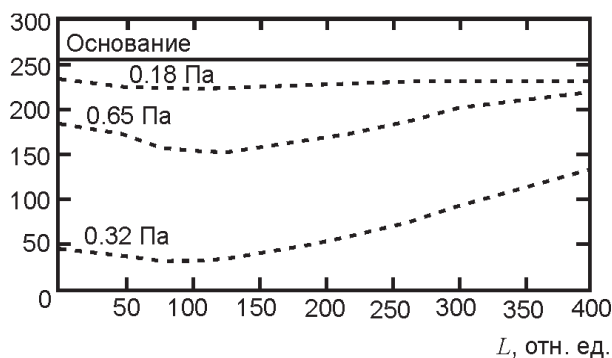


Рис. 2. Профилограммы пленок TaB_2 , полученные на стеклянных подложках (линия основание – стекло без покрытия).

Результаты ВИМС-исследований (рис. 3) показали, что на ситалловых подложках, расположенных в центре зоны равномерного распределения потока, отношение атомных концентраций Ta/B при давлении 0,32 Па составило $\approx 1/2,1$, а при давлениях 0,18 и 0,65 Па $1/2,3$ и $1/2,5$ соответственно (в мишени $\approx 1/2$).

I , arb.u

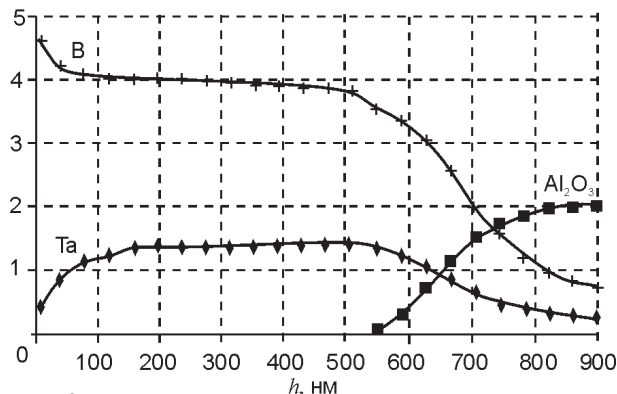


Рис. 3. Послойный элементный анализ пленки TaB_2 , полученной на ситалловой подложке.

На пластинах, расположенных на расстоянии 50 мм от центра зоны равномерного распределения потока отношение Ta/B составило для 0,32 Па $1/2,5$, а для 0,18 и 0,65 Па $1/2,7$ и $1/2,9$ соответственно. Зона рассеяния элемента со значительно меньшей атомной массой (бор) оказалась значительно больше (за счет столкновительных процессов с атомами рабочего газа), чем элемента со значительно большей атомной массой (тантал), в результате чего и произошло увеличение отношения атомных концентраций Ta/B с увеличением расстояния от зоны равномерного распределения потока, что хорошо согласуется с теоретическими расчетами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При прогнозировании результатов напыления, необходимо учитывать кроме энергетического фактора, величина которого обуславливает подвижность атомов адсорбционного слоя и в конечном счете определяет процессы роста и фазообразования пленок, еще и соотношение поступающих на подложку потоков атомов различного сорта, изменяющееся в процессе переноса через разрядный промежуток.

Таким образом, при распылении многокомпонентных мишеней (особенно, если массы распыленных атомов различны по отношению к массе атомов рабочего газа) для получения пленок с максимальной и равномерной толщиной, близких по стехиометрии к составу мишени, целесообразно определять оптимальный параметр $p_0 d$ для используемого материала мишени и размещать образцы в зоне равномерного распределения потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатенко П.И., Терпий Д.Н., Петухов В.В. Исследование структуры и свойств пленочных диборидов титана, ванадия и циркония// UzPEC-2. 2nd Uzbekistan Physical Electronics Conference. Book of abstracts. Tashkent. – 1999. – С.86.
2. Игнатенко П.И., Терпий Д.Н., Петухов В.В. Гончаров А.А., Василенко Н.А. Факторы, влияющие на фазовый состав и структуру напыляемых пленок//VIII Міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок

- ISPTTF-VIII. Матер. конф. – Ивано-Франківськ. – 2001. – С. 28-29.
3. Игнатенко П.И., Терпий Д.Н. Влияние параметров ВЧ магнетронного распыления на фазовый состав и структуру боридных пленок на (100) NaCl//Мат. XIII российского симп. по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел. Черноголовка. – 2003. – С. 134.
 4. Игнатенко П.И., Терпий Д.Н., Гончаров А.А. Влияние режима ВЧ-магнетронного распыления на формирование многофазных боридных пленок//Мат. IX міжнар. конф. “Фізика і технологія тонких плівок”. – Ивано-Франківськ. – 2003. – Т.1. – С. 46.
 5. Запороженко В.И., Степанова М.Г. Преимущественное распыление. Обзор результатов экспериментальных исследований//РАН. Поверхность. Сер.: Физика, химия, механика. – 1994. – № 8-9. – С. 5-17.
 6. Штанский Д.В., Левашов Е.А., Косякин В.И., Дьяконова Н.Б., Лясоцкий И.В.//ФММ. – 1995. – № 5. – С. 121-132.
 7. Терпий Д.Н. Влияние условий распыления мишени ZrB_2 на рост и состав осажденных пленок//Proc. of 5th International Conference “Vacuum Technologies and Equipment”. Kharkov. – 2002. – С. 121-123.
 8. Терпий Д. Н., Игнатенко П. И., Петухов В. В. Прогнозирование состава и свойств пленок, полученных ионно-плазменным распылением//МФиНТ. – 2004. – Т. 26, № 8. – С. 1063-1068.
 9. Андриевский Р.А. Синтез и свойства пленок фаз внедрения//Успехи химии. – 1997. – Т. 66, № 1. – С. 57-86.
 10. Гончаров А.А., Зиновьев Н.И., Мироненко Е.В., Петухов В.В., Терпий Д.Н. Высоко-частотная магнетронная распылительная система на базе установки УВН-75Р-3// ВАНТ. Сер. “Вакуум, чистые металлы, сверхпроводники”. – 1998. – Вып. 4(5), 5(6). – С. 57-58.
 11. Petukhov V.V., Terpij D.N. Reactiv sputtering by unbalanced magnetron//ВАНТ. Сер.: Вакуум, чистые металлы, сверхпроводники. – 1999. – Вып. 2(10). – С. 3-5.
 12. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
 13. Игнатенко П.И., Терпий Д.Н., Гончаров А.А., Петухов В.В. Получение многослойных пленок с помощью ВЧ магнетронного распыления мишеней VB_2 и ZrB_2 // Proc. of 5th International Conference “Vacuum Technologies and Equipment”. Kharkov. – 2002. – P. 114-117.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОЗПИЛЕННЯ І ГЕОМЕТРІЇ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ТОВЩИНУ ТА СКЛАД ОДЕРЖУВАНИХ ПЛІВОК

В.В. Петухов, А.А. Гончаров, В.А. Коновалов, Д.Н.Терпий, В.А. Ступак

Плівки TaB_2 були синтезовані ВЧ магнетронним розпиленням мішені TaB_2 на скляні та ситалові підкладинки. Досліджено вплив параметрів розпилення магнетронної розпилювальної системи на склад і товщину покриття методами фотометрії та вторинної іонної мас-спектрометрії. Показано, що для одержання стехіометричного складу й максимальної товщини необхідно попередньо визначати величини оптимального тиску робочого газу, відстані від мішені до підкладки і потім розміщати зразки в зоні рівномірного розподілу потоку.

Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних тем відповідно до координаційних планів МОІН України (номера госреєстрації проєктів: № 0100U001544 і № 0103U003509).

INFLUENCE OF SPATTERING REGIMES AND SPATTERING SYSTEM GEOMETRY ON THE THICKNESS AND COMPOSITION OF PREPARED FILMS

V. Petukhov, A. Goncharov, V. Konovalov, D. Terpiy, V. Stupak

TaB_2 films were synthesised by hf magnetron sputtering of the TaB_2 target onto glass and pyroceramic surface. The influence of sputtering parameters of magnetron sputtering system on the film composition and thickness was investigated by photo-metry and secondary mass-spectrometry methods. It was shown, that values of optimal working gas pressure, distances from the target to the substrate must be determined in advance as well as samples must be located in the flow uniform distribution zone in order to receive stoichiometric composition and top thickness.

The present work is performed within the framework of state budget scientific-research topics according to coordinating plans of MESU (№ of the project state registration № 0100U001544 and № 0103U003509).