

05

Влияние потенциала смещения на структуру тонких пленок диборида тантала

© А.А. Гончаров, В.А. Коновалов, В.А. Ступак

Донецкий национальный университет, Украина
Донбасская государственная машиностроительная академия,
Краматорск, Украина
E-mail: applmath@dgma.donetsk.ua

В окончательной редакции 29 сентября 2006 г.

Исследовано влияние потенциала смещения на структуру и состав пленок диборида тантала, полученных на стальных подложках методом ВЧ-магнетронного распыления. Установлено, что образуются нанокристаллические текстурированные и нетекстурированные покрытия с различным фазовым составом.

PACS: 81.07.Bc

В настоящее время тонкие пленки боридов переходных металлов (TiB_2 , CrB_2 , ZrB_2 , W_2B_5 , TaB_2) интенсивно исследуются в связи с особенностями их физико-механических свойств, проявляющимися в наноструктурном состоянии [1–10]. Состав синтезированных покрытий варьируется от достехиометрического до сверхстехиометрического. Сверхстехиометрические фазы характеризуются наличием столбчатой структуры с текстурированной плоскостью (00.1) [2,3,5]. Развитие сильной текстуры сопровождается значительным снижением плотности пленок, связанным с появлением микронеоднородностей по границам ориентированных зерен, и увеличением уровня макронапряжений, приводящим к разрушению. Для достехиометрических фаз преимущественно отмечается отсутствие столбчатой структуры и текстурированности [4].

Авторы [8] указывают, что морфология структурных особенностей для пленочных наноструктурных материалов чаще всего характеризуется как столбчатая, хотя встречаются случаи хаотических образований. При этом основными факторами, влияющими на формирование структуры, являются наличие и величина потенциала смещения и температура

подложки [3,5,10]. Авторы [10] отмечают влияние потенциала смещения на состав и микроструктуру пленок TaB_x , полученных на кремниевых подложках.

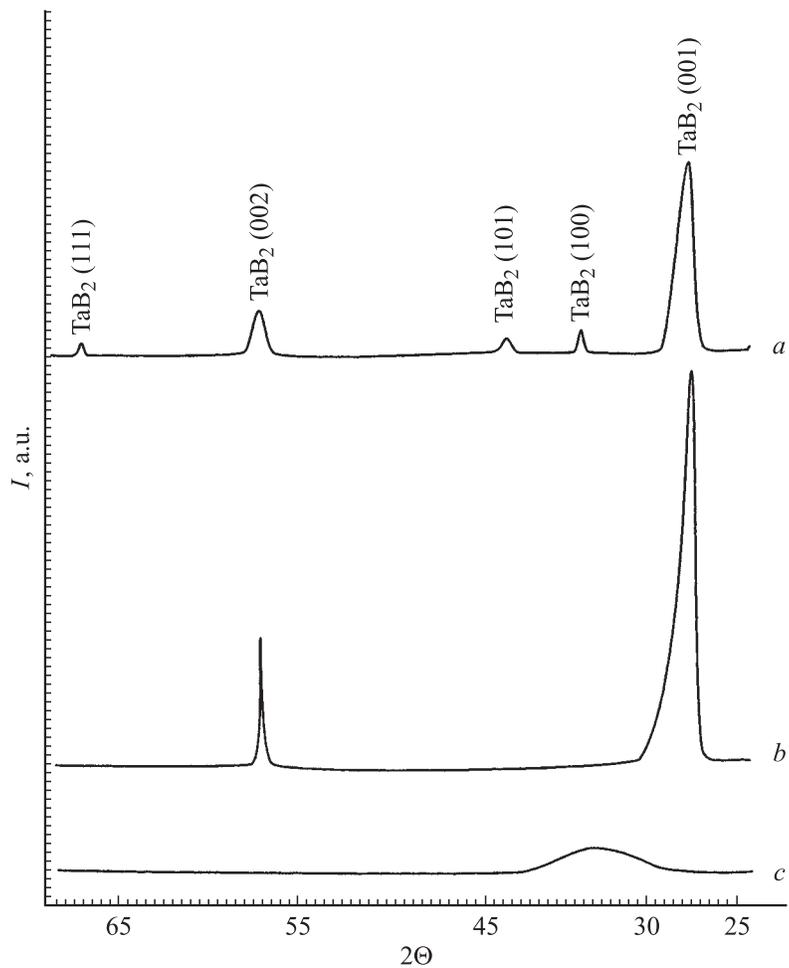
Целью настоящей работы являлось изучение влияния потенциала смещения на формирование структуры тонких пленок боридов тантала, полученных на стальных подложках методом ВЧ-магнетронного распыления в среде аргона.

Исследованные пленки наносились на подложки Ст.3, сталь 40Х путем распыления спеченной порошковой мишени TaB_2 . Напыление проводилось при заземленном металлическом подложкодержателе, при наличии на нем положительного и отрицательного потенциалов смещения. Принудительный нагрев образцов не производился. Мощность ВЧ-генератора составляла 400 W, время напыления — 60 min, рабочее давление — 0.32 Pa, температура образцов в процессе напыления 120°C. Толщины пленок определялись методом многолучевой интерферометрии (МИИ-4) и составляли $0.8 \div 1.2 \mu m$. Рентгеноструктурные исследования проводились с использованием рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3 в фильтрованном $Cu-K_\alpha$ излучении). Элементный состав исследовался методом вторичной ионной масс-спектрометрии (МС-7201М).

Результаты рентгеноструктурных исследований показали существенное влияние потенциала смещения на структуру получаемых пленок (см. рисунок). При нулевом и положительном потенциалах смещения, подаваемых на подложкодержатель, формировались текстурированные пленки с преимущественным ростом нормалью к плоскости (00.1). Наличие отрицательного потенциала смещения приводило к образованию нетекстурированных нанокристаллических покрытий.

В случае заземленного подложкодержателя (потенциал смещения равен нулю) происходил рост текстурированных нанокристаллических пленок TaB_2 (кроме линий (00.1) и (00.2) на дифрактограмме видны линии (10.0), (10.1), (11.1)) (см. рисунок, *a*) [9]. В процессе формирования покрытий участвовали все частицы, присутствующие в потоке массопереноса. Отношение атомных концентраций, рассчитанное по результатам исследований ВИМС, составило $C_B/C_{Ta} = 1.96$, что в пределах погрешности соответствует стехиометрической фазе TaB_2 .

В случае подачи на подложкодержатель положительного потенциала смещения степень текстуры пленок увеличивалась (см. рисунок, *b*). Возникающие сжимающие макронапряжения приводили к изменению по-



Дифрактограммы пленок боридов тантала: *a* — потенциал смещения 0 V, *b* — потенциал смещения +50 V, *c* — потенциал смещения -50 V.

ложения линий (00.1), (00.2). Расчет отношения атомных концентраций бора к танталу, выполненный по данным исследований ВИМС, показал наличие в составе пленок пересыщенного твердого раствора TaB_{2+x}

($C_B/C_{Ta} = 2.4$). Такой результат, по-видимому, связан с увеличением в потоке, поступающем на поверхность образца, доли отрицательно заряженных ионов бора.

Подача на подложкодержатель отрицательного потенциала смещения оказала наиболее существенное влияние на механизм образования покрытий — формировалась нетекстурированная нанокристаллическая фаза TaB_x (см. рисунок, *c*). Положение центра масс „гало“ ($2\theta = 33.5^\circ$) соответствовало линии (10.0) фазы TaB_2 . Расчет отношения атомных концентраций бора к танталу в указанных пленках показал существенный недостаток атомов бора по сравнению со стехиометрическим составом ($C_B/C_{Ta} = 1.6$), таким образом, можно предположить, что происходило образование достехиометрической фазы TaB_{2-x} .

В случаях заземленного подложкодержателя и подачи на него положительного потенциала смещения энергия частиц в потоке массопереноса пропорциональна средней электронной температуре плазмы разряда. Подача отрицательного потенциала смещения увеличивает энергии бомбардирующих покрытие положительно заряженных частиц и инициирует процесс распыления с поверхности растущей пленки, в первую очередь, частиц с наименьшей атомной массой (бор).

Результаты проведенных исследований показали возможность формирования в одной системе тонких пленок с различным фазовым составом и структурой: достехиометрических и сверхстехиометрических, нетекстурированных и текстурированных, что в конечном итоге определяет их физико-механические и электрофизические свойства. Хотелось бы отметить, что приведенные значения величины отношения атомных концентраций бора и тантала в синтезированных покрытиях на данном этапе наших исследований носят оценочный характер.

Список литературы

- [1] Штанский Д.В., Кулинич С.А., Левашов Е.А., Moore J.J. // ФТТ. 2003. Т. 45. В. 6. С. 1122–1129.
- [2] Штанский Д.В., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Шевейко А.Н., Башкова И.А., Малочкин О.В., Левашов Е.А., Косякин В.И., Дьяконова Н.Б., Лясоцкий И.В. // ФТТ. 2005. Т. 47. В. 2. С. 242–251.
- [3] Kunc F., Musil J., Mayrhofer P.H., Mitterer C. // Surf. and Coat. Tech. 2003. V. 174–175. P. 744–753.

- [4] Андриевский Р.А., Калинин Г.В., Кобелев Н.П., Сойфер Я.М., Штанский Д.В. // ФТТ. 1997. Т. 39. В. 10. С. 1859–1864.
- [5] Григорьев О.Н., Пугачев А.Т., Соболев О.В., Стеценко А.Н., Подтележников А.А. // Тезисы межд. конф. „Совр. материалы: достижения и проблемы“. Киев: ИПМ, 2005. С. 528.
- [6] Соболев О.В., Дуб С.Н., Григорьев О.Н., Стеценко А.Н., Подтележников А.А. // Сверхтвердые материалы. 2005. № 5. С. 38–47.
- [7] Andrievski R.A., Kalinnikov G.V., Jauberteau J., Bates J. // J. of Mater. Science. 2000. V. 35. P. 2799–2806.
- [8] Андриевский Р.А., Глезер А.М. // ФММ. 1999. Т. 88. В. 1. С. 50–73.
- [9] Гончаров А.А., Игнатенко П.И., Петухов В.В., Коновалов В.А., Волкова Г.К., Ступак В.А., Глазунова В.А. // ЖТФ. 2006. Т. 76. В. 10. С. 87–90.
- [10] Shun-Tang Lin, Chiaryung Lee // J. Electrochem. 2003. V. 150. N 10. P. 607–611.