

**СИНТЕЗ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БОРА В ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФОРВАКУУМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ**

З.А. Бадмажапов, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Тюньков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: andrew71@sibmail.com

**SYNTHESIS OF BORON COATING IN BEAM PLASMA USING FORE-VACUUM PLASMA-
CATHODE ELECTRON SOURCE**

Z.A. Badmazhapov, A.V. Tyunkov, Yu.G. Yushkov

Scientific Supervisor: Assist. Prof., Ph.D. A.V. Tyunkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: andrew71@sibmail.com

***Abstract.** Article presents the results on deposition of boron-containing coating on Ti substrate. The synthesis of the coating took place in plasma produced by electron beam in fore-vacuum (1–100 Pa) pressure range, during evaporation of boron followed by ionization of boron particles by the same electron beam. We show the results of study of coatings surface.*

Введение. Одной из актуальных задач современного материаловедения является продление службы различных инструментов и узлов механизмов, которые должны обладать высокими значениями твердости, механической прочностью и износостойкостью. Решением такой задачи может выступать формирование различных покрытий на поверхностях изделий. На сегодняшний день существует множество способов получения износостойких покрытий [1–2]. Одним из альтернативных методов формирования покрытий в настоящее время является электронно-лучевой синтез пленок в пучковой плазме, которая создается при транспортировке электронного пучка в атмосфере газа при повышенных (форвакуумный диапазон) давлениях (1–100 Па.). Преимуществом такого метода, несомненно, является то, что в форвакуумном диапазоне давлений не нужно предпринимать каких-либо мер для нейтрализации электрического заряда на поверхности распыляемой мишени, поскольку заряд при таких давлениях успешно компенсируется ионами, из плазмы, создаваемой при транспортировке электронного пучка в вакуумной камере. Это открывает возможность непосредственной электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов [3] и делает привлекательным использование плазменного электронного источника в форвакуумной области давлений для осуществления электронно-лучевого испарения бора. Поскольку такой процесс требует повышенного давления газа, то сочетание электронно-лучевого испарения бора с ионизацией пучком паров испаряемого материала и молекул остаточной атмосферы, содержащей химически активные кислород и азот, обеспечивает возможность синтеза борсодержащих покрытий различного функционального назначения.

Методика проведения эксперимента. В экспериментах использовался форвакуумный плазменный источник электронов на основе разряда с полым катодом функционирующий в постоянном режиме, конструкция и особенности работы которого представлены в [4]. Схема экспериментальной установки для синтеза борсодержащих покрытий представлена на рис. 1.

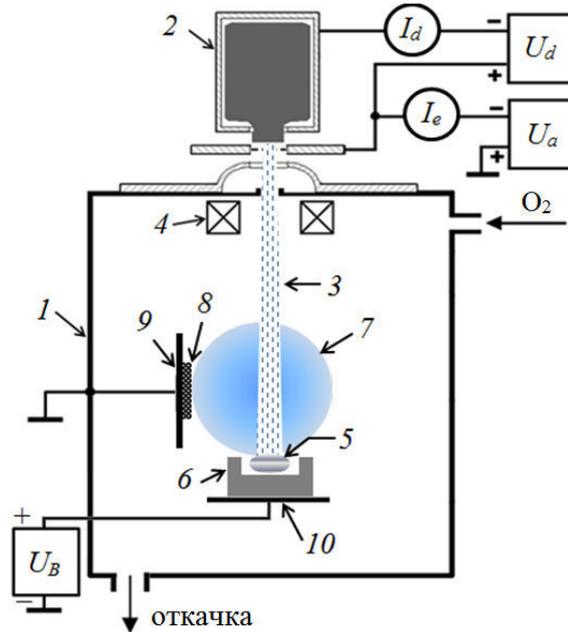


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – вакуумная камера, 2 – форвакуумный плазменный источник электронов, 3 – электронный пучок, 4 – система фокусировки, 5 – мишень из бора, 6 – танталовый тигель, 7 – плазма, 8 – титановый образец, 9 – держатель образца, 10 – коллектор

После откачки вакуумной камеры до предельного давления в 1 Па, напускался гелий до давления порядка 8 Па. Фокусировка электронного пучка производилась с помощью фокусирующей системы до диаметра менее 5 мм. Электронный пучок фокусировался на образце из чистого бора (99,9%), который помещался на тигле из тантала. С одной стороны электронный пучок испарял мишень из бора и одновременно ионизовал его испаренные атомы, в процессе чего формировалась борсодержащая пучковая плазма, которая в свою очередь использовалась для осаждения покрытия. На рис. 2 представлена фотография покрытия и 3D профиль.

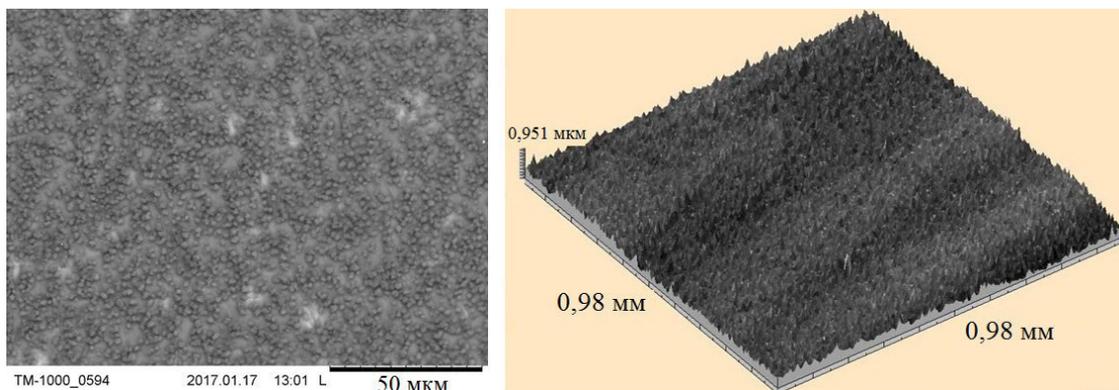


Рис. 2. Фотография поверхности покрытия на основе бора (слева) и снимок профиля (справа)

Результаты работы и их обсуждение. Фотографии поверхности покрытий получены сканирующим электронным микроскопом Hitachi TM-1000. Профиль поверхности получен трехмерным бесконтактным профилометром (Micro Measure 3D Station). Из профиля поверхности видно, что шероховатость покрытия лежит в пределах до 1 мкм.

На рис. 3 представлен график зависимости микротвердости по глубине полученного образца.

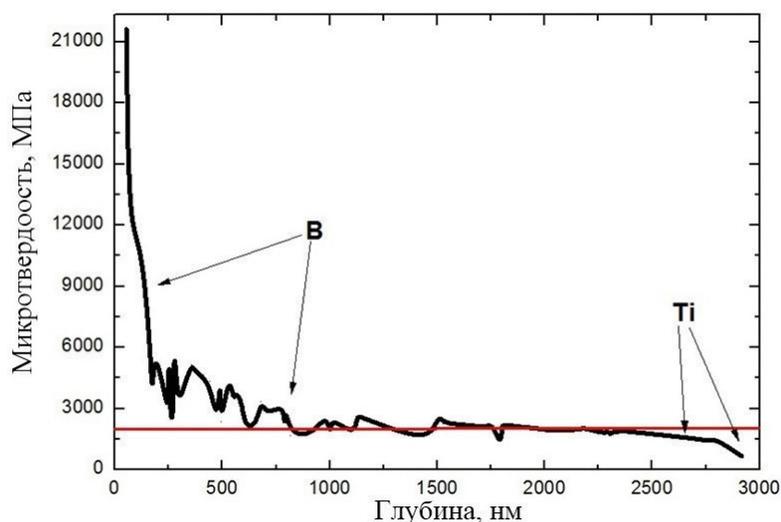


Рис. 3. Микротвердость образца по глубине

Как видно из графика после напыления борсодержащего покрытия микротвердость исходного образца увеличилась более чем в 8 раз, так же по графику можно оценить толщину покрытия, которая составляет более 2 мкм. Учитывая, что процесс напыления длился 1 минуту можно сделать вывод о высокой эффективности напыления покрытий электронно-лучевым методом.

Заключение. Результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность генерирования борсодержащей плазмы форвакуумным электронным источником и ее использования для получения покрытий на основе бора. Обнаружено значительное (порядка 8 раз) возрастание микротвердости образца вследствие нанесения на его поверхность борсодержащего покрытия.

Работа была поддержана грантом РФФИ 16-38-60059 Мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабунец В.Ф. Износостойкие боридные покрытия. – Киев: Техника, 1989. – 158 с.
2. Williams J.M. Boron cathodic arc as an ion source for shallow junction ion implantation of boron / J.M. Williams, C.C. Kleppe, D.J. Chivers, R.C. Hazelton, J.J. Moschella // J. Vac. Sci. Technol. B. – 2008. – V. 26. – No. 1. – P. 368–372.
3. Burdovitsin V.A. Potential of a dielectric target during its irradiation by a pulsed electron beam in the forevacuum pressure / V.A. Burdovitsin, A.V. Medovnik, E.M. Oks, E.V. Skrobov, Y.G. Yushkov // Technical Physics. – 2012. – V. 57. – No. 10. – P. 1424–1429.
4. Окс Е.М., Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск: Издательство ТУСУР, 2014. – 283 с.