

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТЕРМОСТОЙКОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК $TiB_2+20\% TiC$

Лам Н. Н.

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

Телеш Е. В. – ст. преподаватель

Проведено исследование влияния температуры подложки при нанесении пленок ионно-лучевым распылением мишени состава $TiB_2+20\% TiC$ на их механические характеристики и термостойкость. Установлено, что микротвердость и термостойкость пленок увеличивается, а коэффициент трения уменьшается с ростом температуры подложки, что может быть связано с десорбцией из пленки газовых включений, уплотнением ее структуры.

Композиты, которые объединяют бориды и карбиды тугоплавких переходных металлов, обеспечивают привлекательное сочетание превосходных механических и электрических свойств и химической стойкости, особенно при высоких температурах и в агрессивных средах [1]. Тонкие пленки таких композитов широко применяются в качестве защитных, износостойких, жаропрочных, биосовместимых покрытий, в качестве материалов для тонкопленочных резисторов и т.п. Соединения TiB_2 и TiC являются важными материалами для высокотемпературных применений из-за их высоких температуры плавления, твердости, модуля упругости и электрической проводимости и относительно низкого коэффициента теплового расширения [2].

Нанесение пленок осуществляли ионно-лучевым распылением. Мишень состава $TiB_2+20\% TiC$ имела диаметр 80 мм и толщину 6 мм. Расстояние мишень–подложка составляло ~ 80 мм. Пленки формировались на подложках из окисленного кремния и кремния [3]. Остаточный вакуум составлял $3,2 \cdot 10^{-3}$ Па, рабочее давление аргона – $(5,3–8,2) \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение – 3,0 кВ, ток мишени – 75 мА температура подложек – 320–573 К. Толщина покрытий измерялась с применением микроскопа МИИ-4. Микротвердость по шкале Кнуупа определяли на микротвердомере Leica VMHT MOT, а коэффициент трения – на трибометре МТ-25 возвратно-поступательного типа. Индентором являлся шарик из стали ШХ15 радиусом 4 мм. Нагрузка на индентор составляла 300 мН, скорость перемещения индентора – 4–7 мм/с, количество циклов истирания – 200...1000.

На рисунке 1 представлена зависимость микротвердости пленок от температуры подложки при скорости нанесения 0,56 нм/с.

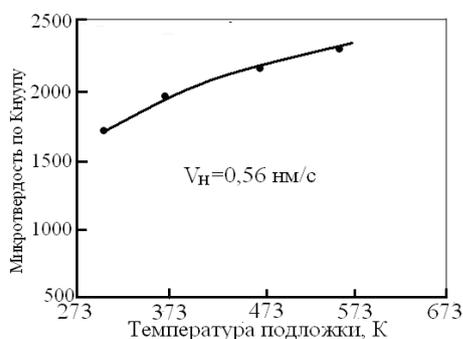


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости пленок $TiB_2+20\% TiC$ от температуры подложки

Микротвердость пленок увеличивается с ростом температуры подложки, что может быть связано с десорбцией из пленки газовых включений, уплотнением ее структуры.

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента трения от количества циклов истирания пленок, полученных при температурах подложки 373 и 573 К, а на рисунке 3 – зависимость коэффициента трения от температуры подложки при нанесении. Установлено, что повышение температуры подложки со 375 до 573 К способствует уменьшению коэффициента трения почти в 7 раз.

Испытания на термостойкость осуществляли в вакууме $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Па при температуре 1273 К в течение 5 минут. Нагреватель представлял собой прямоугольную пластину из высокоплотного графита, через которую пропускался ток. Температура нагревателя измерялась хромель-алюмелевой термопарой. В таблице 1 приведены результаты испытаний пленок, полученных при различных температурах подложки. Были проведены измерения удельного поверхностного сопротивления ρ_s и микротвердости пленок до и после термообработки.

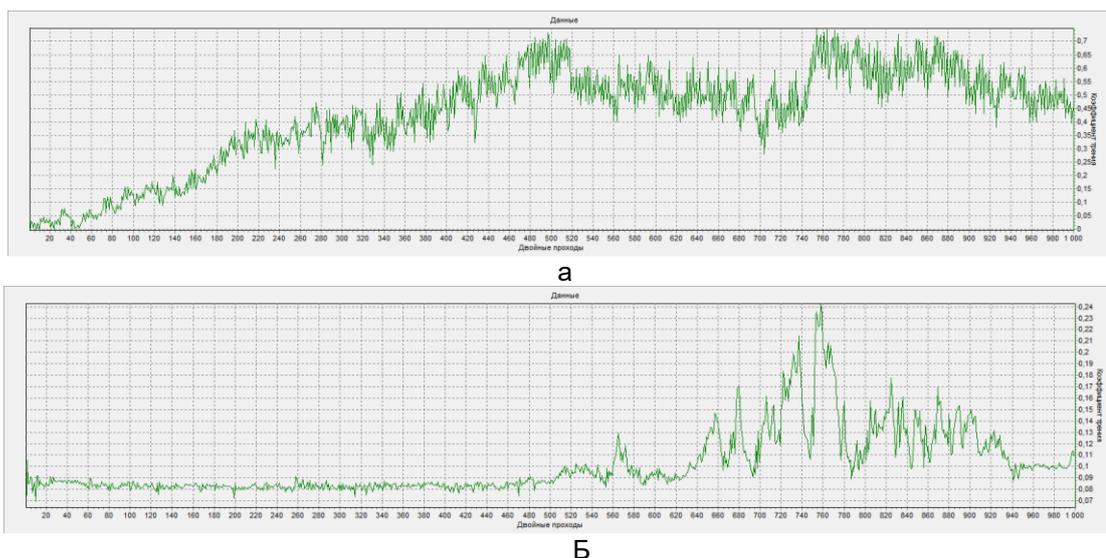


Рисунок 2– Зависимости коэффициента трения от количества циклов истирания пленок, полученных при температурах подложки 373 (а) и 573 (б) К

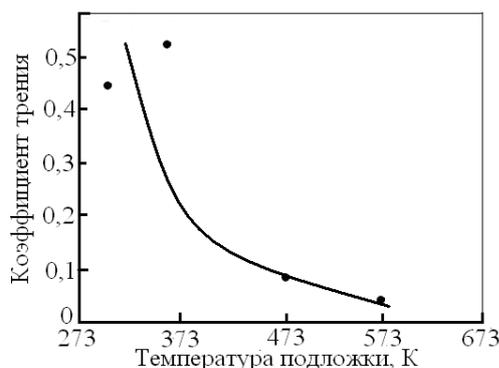


Рисунок 3 –Зависимость коэффициента трения пленок TiB₂+20% TiC от температуры подложки

Таблица 1 – Результаты испытаний пленок TiB₂+20 % TiC на термостойкость

Метод формирования покрытия	n	P _{N2} , P _{сн4} , 10 ⁻² Па	ρ _□ , Ом/□		Микротвердость, НК	
			до нагрева	после нагрева	до нагрева	после нагрева
ИЛР TiB ₂ +20 % TiC	313	–	17	380	1712	2371
ИЛР TiB ₂ +20 % TiC	373	–	11	372	1925	1590
ИЛР TiB ₂ +20 % TiC	473	–	7,8	8,0	2145	2168
ИЛР TiB ₂ +20 % TiC	573	–	7,7	7,5	2226	3050

Пленки, полученные распылением композиционной мишени TiB₂+20 % TiC при низких температурах подложки, после нагрева резко увеличивали свое сопротивление (в 22–33 раза). Пленки, нанесенные на нагретые подложки незначительно изменяют сопротивление, причем при нанесении при температуре подложки 573 К происходит даже уменьшение ρ_□. Микротвердость покрытий в основном возростала после термообработки при 1273 К.

1. Shu, S. Fabrication of TiC_x-TiB₂/Al compozite for application as a heat sink / S. Shu, H. Yang, C. Tong, F. Qiu // Materials.– 2016.– №9.– P.642–672.
2. Sundgren, J.E. Growth, structural characterization and properties of hard and wear–protective layered materials // J.E. Sundgren, J. Brich, G. Hakansson, I. Haltman, U. Helmersson//Thin Solid Films.–1990.– V.193–194.– P.818–831.
3. Телеш, Е.В. Формирование наноструктурных пленок из TiB₂+ 20 % TiC ионно-лучевым распылением композиционной мишени/ Е.В. Телеш, Н.Н Лам // Приборостроение – 2018: материалы 11-й Международной научно-технической конференции, г. Минск, 14–16 ноября 2018 г. БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 333–334.