

УДК 001+378  
ББК 72:74  
С56

*Утверждено к печати советом  
Хмельницкой областной организации СНИО Украины  
и президиумом Украинского Национального комитета IFToMM,  
протокол № 3 от 10.08.2017*

Представлены доклады XII Международной научной конференции “Современные достижения в науке и образовании”, проведенной в г. Нетания (Израиль) в 17–24 сентября 2017 г.

Рассмотрены проблемы образования, нанотехнологий, динамики и прочности механических систем, информатики и кибернетики, экономики и управления.

Материалы конференции опубликованы в авторской редакции.  
Для ученых, инженеров, работников и аспирантов ВНЗ.

**Редакционная коллегия:**

д. т. н. *Ройзман В. П.* (Украина), д-р *Прейгерман Л. М.* (Израиль),  
д. т. н. *Костюк Г. И.* (Украина), д. т. н. *Бубулис А.* (Литва),  
д. т. н. *Натриашвили Т. М.* (Грузия), д-р *Петрашек Я.* (Польша),  
д. т. н. *Коробко Е. В.* (Беларусь), д. т. н. *Силин Р. И.* (Украина)

С56 **Современные** достижения в науке и образовании : сб. тр.  
XII Междунар. науч. конф., 17–24 сент. 2017 г., г. Нетания  
(Израиль). – Хмельницкий : ХНУ, 2017. – 169 с. (укр., рус., англ.).  
ISBN 978-966-330-296-6

Рассмотрены проблемы образования, динамики и прочности, материаловедения, нанотехнологий, экономики и управления.

Для научных и инженерных работников, специализирующихся в области изучения этих проблем.

---

Розглянуті проблеми освіти, динаміки і міцності, матеріалознавства,  
нанотехнологій, економіки та управління.

Для науковців та інженерних працівників, які спеціалізуються в  
області вивчення цих проблем.

**УДК 001+378**  
**ББК 72:74**

ISBN 978-966-330-296-6

© Авторы статей, 2017  
© ХНУ, оригинал-макет, 2017

## ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ БОРИДНЫЕ, НИТРИДНЫЕ, КАРБИДНЫЕ, СИЛИЦИДНЫЕ И ОКСИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ТВЁРДОМ СПЛАВЕ GEM1

*Костюк Г. И., Костюк Е. Г.*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”*

Была исследована возможность создания высокоэнтропийных боридных, нитридных, карбидных, силицидных и оксидных покрытий на материале Gem1, рассматривалась возможность нанесения боридов, нитридов, карбидов, силицидов и оксидов гафния, циркония, молибдена, вольфрама, иттрия и никеля. Для этого на основе совместной задачи теплопроводности и термоупругости определялся объём зерна и глубины его залегания для рассмотренных элементов – бора, углерода, азота, кислорода и кремния.

Получение боридов требует подачи ионов бора, которые можно получать непосредственно из электрода из бора при использовании магнетрона. Например, для бора зависимости объёма зерна (рис. 1, а), минимальной (рис. 1, б) и максимальной (рис. 1, в) глубин залегания позволяют получить пространственную картину образования зерна в зоне действия иона бора.

Диапазон минимальных глубин залегания:  $4,76 \cdot 10^{-10}$ – $1,08 \cdot 10^{-7}$  м, а максимальных –  $2,6 \cdot 10^{-9}$ – $1,18 \cdot 10^{-7}$  м (см. рис. 1). Видно, что в этом случае достигается максимальная глубина зоны, где образуется зерно, увеличивается практически до доли микрометров.

Аналогичные зависимости получены для ионов углерода, азота, кислорода. В дальнейшем в зависимости от того, какую последовательность слоёв мы хотим получить, исходя из адгезионных и прочностных характеристик покрытия, мы выбираем поверхностный слой покрытия и их чередование. Для выполнения условия высокоэнтропийности определяем долю гафния, участвующего в процессе с учётом требования, чтобы циркония было не более 30 %, а потом оцениваем скважность импульсов напряжения на испарителе с катодом СЦГ 20 и долю остальных компонентов, для которых необходимо иметь один катод двухкомпонентный, с соотношением компонентов 50 %/50 %, и два испарителя с однокомпонентными катодами (причём объединяя в двухкомпонентном катоде элементы с близкими парциальными давлениями при одинаковых температурах).

На рис. 2 для ионов гафния представлены все три зависимости. Видно, что объём, соответствующий НС реализуется до энергии ионов порядка 700–800 эВ и глубины: для минимальной  $0$ – $2,75 \cdot 10^{-8}$  м; для максимальной –  $2,04 \cdot 10^{-9}$ – $3,49 \cdot 10^{-8}$  м.

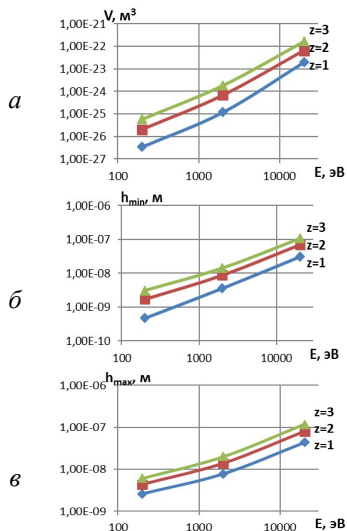


Рис. 1. Зависимости объема нанокластера (НК) (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НК от энергии при действии ионов бора ( $B^+$ ) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для Gem1

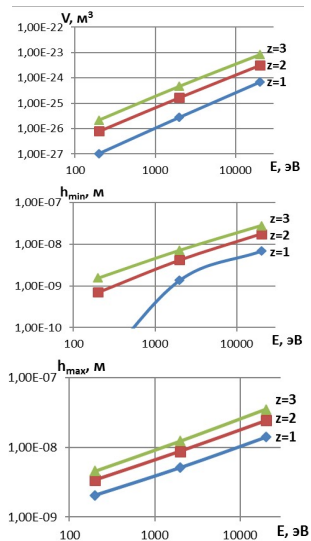


Рис. 2. Зависимости объема нанокластера (НК) (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НК от энергии при действии ионов гафния ( $Gd^{+}$ ) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для Gem1

Видно, что с ростом массы иона объёмы НС и глубины их залегания существенно уменьшаются. Эта тенденция прослеживается практически для всех рассмотренных ионов.

Уменьшаются минимальная и максимальная глубины залегания зерна с увеличением массы иона, а также незначительно уменьшаются объёмы зерна. Зона энергии, где возможно получение наноструктур, увеличивается, что положительно сказывается на физико-механических характеристиках покрытия, которое при наноструктурном зерне имеет большую микротвёрдость, предел текучести, предел прочности, повышается также коррозионная стойкость, при этом увеличивается способность воспринимать ударные нагрузки за счёт снижения модуля упругости. Проведя эти расчёты, выберем последовательность слоёв: на поверхности должен быть слой из соединения, имеющего минимум адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом. Остальные слои располагаются с учётом требуемого режима работы РИ (обработка высокопрочных и закалённых сталей; характер резания: непрерывный, прерывистый и др.). Силициды успешно работают при высоких температурах, и поверхностный слой из силицидов будет особенно полезен, при высоких температурах в зоне резания. В этом случае этот слой должен быть на поверхности, а значит, выбираем вариант с энергией ионов? соответствующий минимальной глубине залегания близкой к нулю.

### Литература

1. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation / J. W. Yeh, Y. L. Chen, S. J. Lin, S. K. Chen // Materials Science Forum. – 2007. – Vol. 560. – Pp. 1–9.
2. Костюк Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокровтиями и наноструктурными модифицированными слоями : моногр.-справочник : в 2 кн. / Г. И. Костюк. – Харьков : Планета-Принт, 2016. – Кн. 1: Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. – 735 с

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУСПЕНЗИЙ ВО ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

*Коробко Е. В.<sup>1</sup>, Ройзман В. П.<sup>2</sup>, Новикова З. А.<sup>1</sup>, Харламова И. М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси  
Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, e-mail: evkorobko@gmail.com*

<sup>2</sup>*Хмельницкий национальный университет*

*Украина, г. Хмельницкий, ул. Институтская, 11, e-mail: royzman-v@mail.ru*

**Введение.** Электрореологический эффект (ЭР-эффект) представляет собой быстрое обратимое существенное изменение реологи-