

Г.И. КОСТЮК, д-р техн. наук, проф., НАУ «ХАИ», Харьков;

Е.Г. КОСТЮК, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков;

Л.В. ЛОБАНОВА, ст. преп. НАУ «ХАИ», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГИИ ИОНОВ, ИХ СОРТА И ЗАРЯДА НА ВЕЛИЧИНУ ОБЪЕМА НАНОСТРУКТУРЫ И ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУР

На основе решения совместной задачи теплопроводности и термоупругости получены поля температур и температурных напряжений, в которых выделены зоны, где образуются наноструктуры. Для большого количества различных ионов их норм и зарядов от 1 до 3 получена зависимость объема наноструктуры и диапазон глубин, на которых реализуются наноструктуры, от энергии и заряда ионов.

Ключевые слова: наноструктура, температура, температурные напряжения, размер зерна, плотность тока.

Введение. Для получения нанокристаллических структур на поверхности, как известно, необходимо создание определенных температур (или скорости ее нарастания), давлений в нужном объеме и наличие атома металла, вокруг которого формируется наноструктура.

За счет действия ионов различных сортов, энергий, зарядности, плотностей токов есть возможность сохранения достаточных температур (за счет соответствующего распределения температур температурного поля по глубине обеспечивается высокая средняя температура), в то же время, выбирая расположение поля по глубине (варьируя энергии, зарядности и сорт частиц), обеспечиваем высокие градиенты температур. Следовательно, в довольно большом объеме материала будут действовать значительные по величине напряжения, т.е. будут выполняться условия для получения кристаллических структур.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины "Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе" (подсекция 13) "Аэрокосмическая техника и транспорт" и по темам "Создание физико-технических основ повышения качества материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Анализ основных достижений и литература. Как показано в работах [1–10], действие заряженных частиц на конструкционные материалы приводит к появлению в материале на глубине довольно высоких температур

при действии индивидуальных ионов разных сортов, и в зоне теплового воздействия есть вероятность появления температурных напряжений значительной величины, что подтверждает возможность появления локальных зон, где достигаются условия возникновения наноструктур.

Для того чтобы такие условия реализовались в значительном объеме (действие высоких температур и напряжений), также необходимо обеспечить максимальное заполнение поля температур с повышенными температурами и в то же время сохранить зоны с максимальными градиентами температур, когда реализуются высокие значения температурных напряжений. Очевидно, простым увеличением плотностей ионного тока этого достичь будет нельзя, так как с ростом плотности тока градиенты температур в зоне действия соседних частиц снижаются, а следовательно, снижаются величины температурных напряжений и условия образования наноструктур не выполняются.

Поэтому, несколько модернизировав модель действия индивидуальных частиц на конструкционные материалы [1–10], получим модель, учитывающую необходимые факторы (в частности, в модели не учитывались зарядность иона и характер их сложного взаимодействия в довольно большом рассматриваемом объеме).

Постановка задачи и цель исследований. Приняв в качестве критериев получения наноструктур требуемый диапазон температур, скоростей нарастания температур, давлений (температурных напряжений) и наличие катализатора [1], можем рассмотреть возможность получения наноструктур в зависимости от физических и технологических параметров потоков при обработке.

Материалы исследований. Величина объема наноструктур при единичном действии иона дает возможность прогнозировать требуемую плотность ионного тока в потоке для полного заполнения слоя, где возможно образование для этого иона соответствующего сорта, энергии и заряда. Так, на рис. 1 представлены зависимости объема нанокластера от зарядового числа z и энергии E для ионов: C, B, N – a ; Al – b ; Ti, V, Cr – $в$, аналогичные зависимости для ионов Fe, Ni, Co – на рис. 3, a ; Y, Zr, Nb, Mo – рис. 2, b ; Hf, Ta, W, Pt – рис. 2, $в$. Видно, что с ростом энергии ионов и их зарядов реализуется существенный рост объемов, заряд же ионов влияет меньше.

Результаты исследований. Полученные зависимости будут необходимы для определения потребной плотности тока соответствующего сорта, заряда и энергии для полного заполнения слоя наноструктурами, а, выбрав необходимые энергии, заряды и сорта ионов для получения наноструктур в основном требуемой толщины, аналогично проводим оценки требуемых плотностей токов в каждом слое.

Зная объем, занимаемый наноструктурой при соответствующих энергиях, сортах и зарядах ионов и диапазон глубин, на которых этот объем находится, очевидно можно оценить плотность ионного тока.

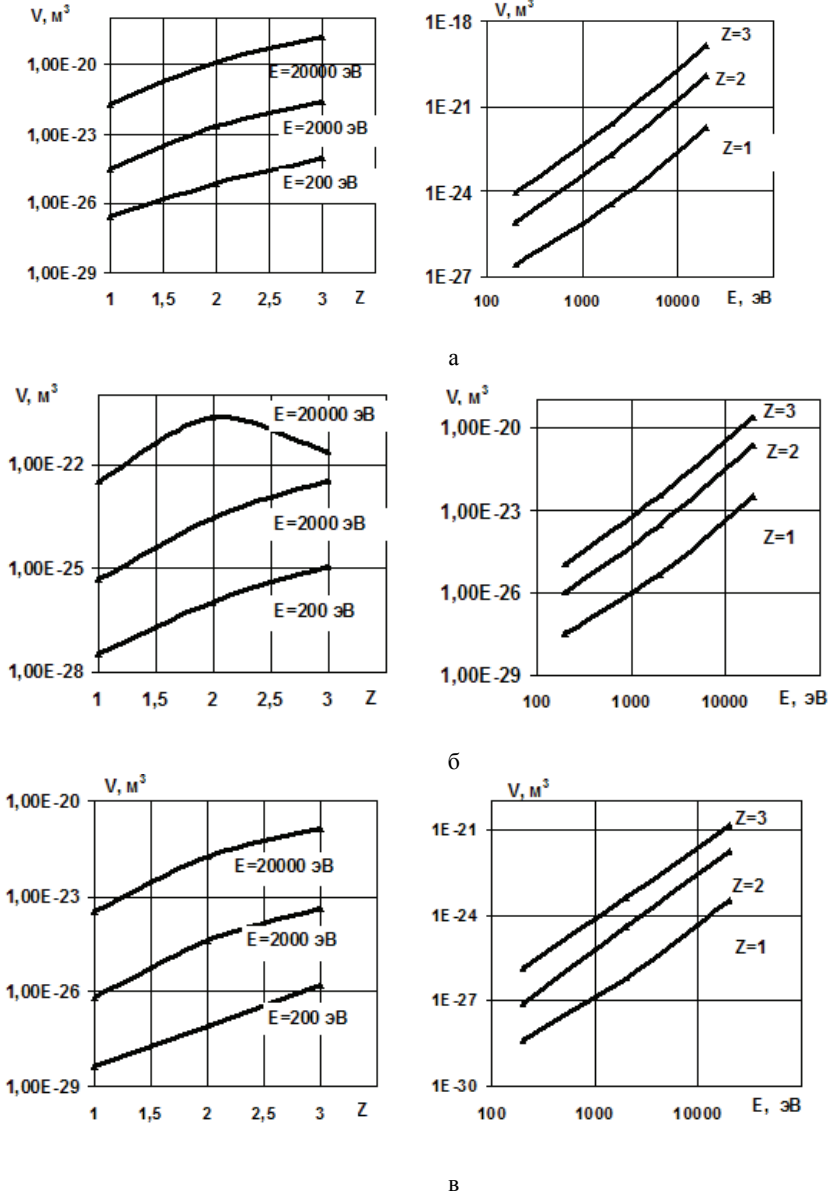


Рис. 1 – Зависимость объема, в котором реализуются наноструктуры от зарядового числа и энергии ионов: а – C, B, N; б – Al; в – Ti, V, Cr

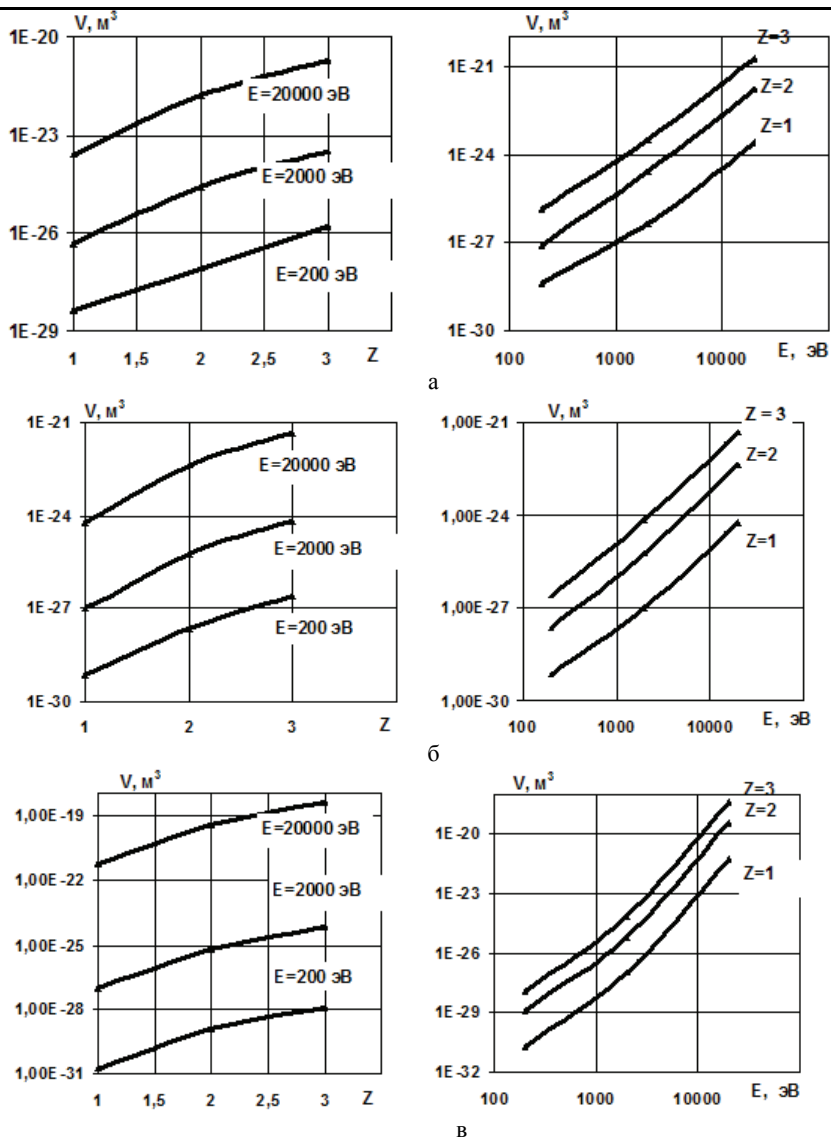


Рис. 2 – Зависимость объема наноструктур от заряда и энергии ионов:
а – Fe, Ni, Co; б – Y, Zr, в – Mo; Hf, Ta, W, Pt

Тогда по известным диапазонам глубин залегания зон, где образуются наноструктуры, выбираем энергии, сорта и зарядности ионов для полного заполнения объема по глубине, т.е. так, чтобы они дополняли друг друга. Далее определяем плотность тока каждого из сортов иона и заряда, чтобы

максимально заповнить необхідний об'єм поверхнового слоя деталі наноструктурами (желательно, чтобы окончание первого слоя было началом второго, окончание второго – началом третьего слоя, и так далее). Тогда для любого i -го слоя плотность тока определяется как

$$j_i = \frac{h_{i2} - h_{i1}}{V_{HCl}} z_i e,$$

где h_{i1} и h_{i2} – начальная и конечная координаты зоны, где реализуются наноструктуры для i -го иона (рис. 3 – 10); V_{HCl} – об'єм зони, где образуются наноструктуры; z_i – зарядовое число i -го иона; e – заряд электрона.

Зная j_i , V_{HCl} , h_{i1} , h_{i2} и z_i и выбрав E_i , мы можем сформировать необходимое количество потоков ионов, позволяющих получить наноструктурированный слой требуемой толщины, а с учетом технологической задачи формирования немоноэнергетичных разнозарядовых потоков ионов можно решить задачу по технологическим параметрам ионной обработки.

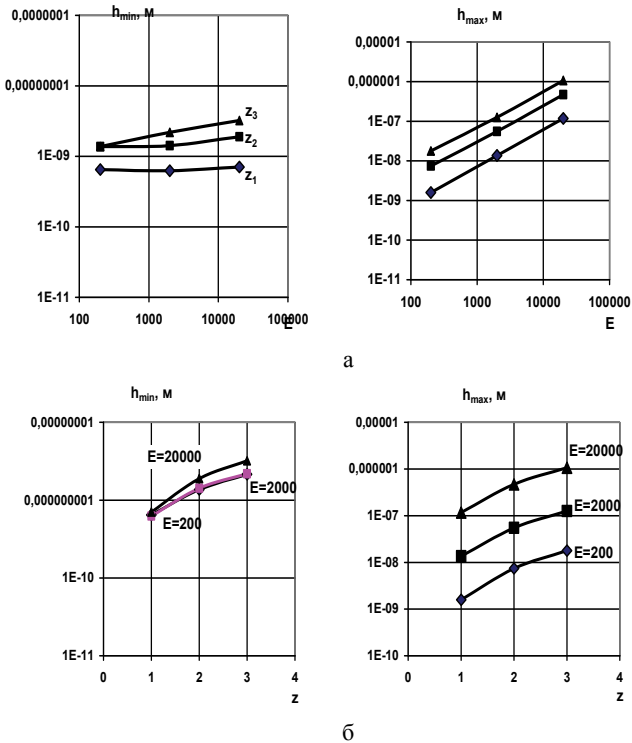
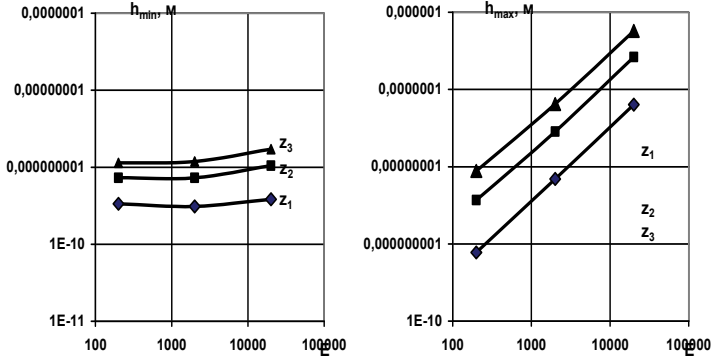
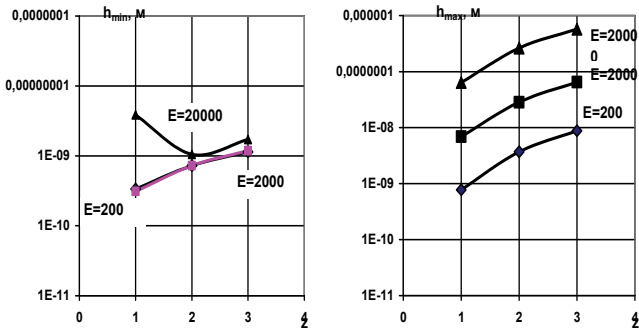


Рис. 3 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от: а – энергии ионов; б – заряда ионов (ионы C, B, N).



а



б

Рис. 4 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от : а – энергии ионов; б – заряда ионов (иона Al)

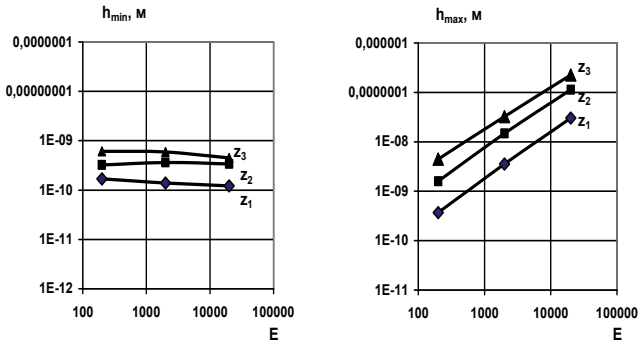


Рис. 5 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от энергии ионов (ионы Ti, V, Cr)

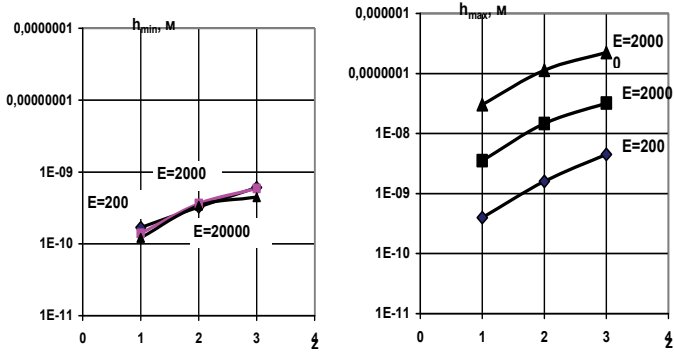


Рис. 6 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от заряда ионов (ионы Ti, V, Cr)

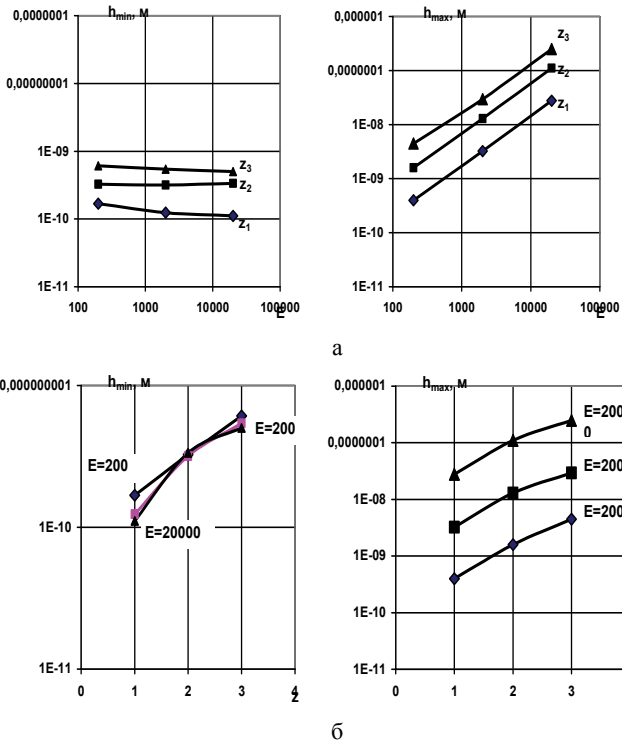


Рис. 7 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от : а – энергии ионов; б – заряда ионов (ионы Fe, Ni, Co)

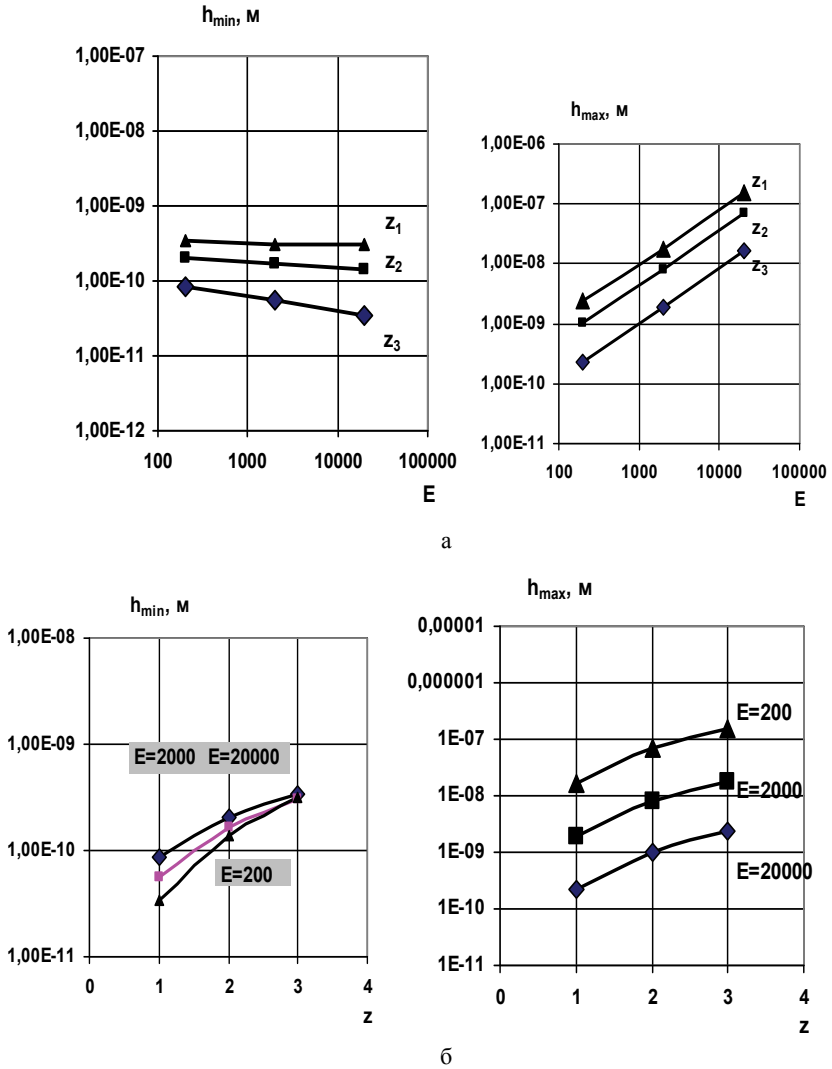


Рис. 8 – Зависимости минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения наносля от: а – энергии ионов; б – заряда ионов (ионы Y, Zr, Nb, Mo)

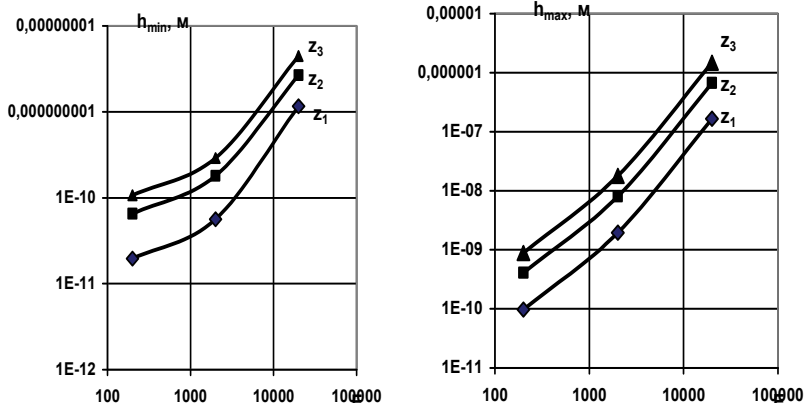


Рис. 9 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от энергии ионов (ионы Hf, Ta, W, Pt)

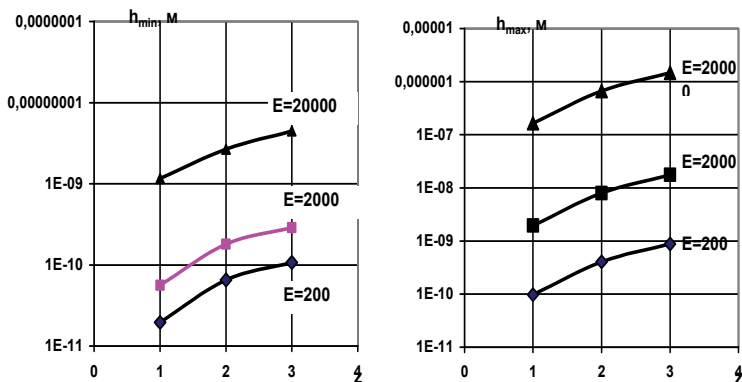


Рис. 10 – Зависимость минимальной h_1 и максимальной h_2 глубины получения нанослоя от заряда ионов (ионы Hf, Ta, W, Pt)

Выводы.

1. На основе исследования влияния энергии, сорта и заряда иона показана возможность получения плотности ионного тока, при которой можно обеспечить вероятно максимально возможное заполнение наноструктурами слоя на диапазоне глубины (минимальной и максимальной (n_1 и n_2) залегания наноструктуры).

2. Показана возможность получать слои наноструктур необходимой и толщины за счет применения потоков ионов с разной энергией, зарядом и сортом.

3. Конструирование наноструктур с помощью различных потоков ионов, обеспечивается таким образом: максимальная глубина первого слоя должна быть близка к минимальной глубине второго слоя и так далее.

Список литературы: 1. *Костюк, Г.И.* Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр./ *Г.И. Костюк.* –К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с. 2. *Костюк, Г.И.* Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / *Г.И. Костюк.* – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн.1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 596 с. 3. *Костюк, Г.И.* Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / *Г.И. Костюк.* – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. – 482 с. 4. *Костюк, Г.И.* Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность [Текст]: учеб. пособие / *Г.И. Костюк.* – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с. 5. *Костюк, Г.И.* Научные основы создания современных технологий [Текст]: учеб. пособие / *Г.И. Костюк.* – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2012

УДК 539.2

Исследование влияния энергии ионов, их сорта и заряда на величину объема наноструктуры и эффективной плотности тока для получения наноструктур / Г.И. Костюк, Е.Г. Костюк, Л.В. Лобанова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.165-174. – Бібліогр.: 5 назв.

На основі вирішення сумісної задачі теплопровідності та термопружності одержано поля температур і температурних напружень, у яких виділено зони, де утворюються наноструктури. Для широкого кола різних іонів і їх зарядів від 1 до 3 одержано залежності об'єму наноструктур і діапазон глибин, на яких реалізуються наноструктури, від енергії та заряду іонів.

Ключові слова: наноструктура, температура, температурні напруження, розмір зерна, густина струму.

On the basis of the joint decision problem of heat conduction and thermoelasticity obtained temperature field and thermal stresses, which highlighted areas where nanostructure formed. For a large number of different ions to the rules and charges from 1 to 3 were obtained depending on the volume of the nanostructure, and the range of depths in which nanostructures are implemented on the energy and ion charge, determined the effective current density.

Keywords: Nanostructure, temperature, thermal stresses, grain size, the current density.