

УДК 661.551.546.621

СВОЙСТВА К-ФАЗЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ВБЛИЗИ НАГРЕТОЙ ЧАСТИЦЫ

Д. ф.-м. н. Н. Х. Копыт, к. ф.-м. н. К. И. Семенов

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова
Украина, г. Одесса
semenovki@odu.onu.ua

Получены выражения для расчета градиентов теплового и электрического полей вблизи нагретых металлических частиц. Рассчитаны величины полей вблизи частиц молибдена, вольфрама, меди, тантала, титана размерами 100—400 мкм, которые получали в импульсной электрической дуге. Получены фотографии на просвечивающем электронном микроскопе наночастиц к-фазы, образующейся вблизи частиц и данные по знаку их заряда, показана возможность модификации их свойств.

Ключевые слова: наночастица, к-фаза, синтез наночастиц.

Сфера применения материалов на основе наночастиц постоянно расширяется. Повышенный интерес к нанообъектам вызван наличием у них необычных физических и химических свойств, что связано с проявлением так называемых квантовых размерных эффектов [1]. Свойства же композиционных материалов на основе наночастиц зависят от многих факторов, среди которых следует выделить химический состав, тип кристаллической решетки и степень ее дефектности, размер и форму частиц, морфологию (для структурно неоднородных частиц), взаимодействие частиц с окружающей их матрицей и соседними частицами, что в значительной мере определяется технологией их получения. Таким образом, изменяя размеры, форму, состав и строение наночастиц, можно в определенных пределах управлять различными характеристиками материалов и приборов на их основе [2].

Целью работы было изучение свойств к-фазы, состоящей из наночастиц, образующихся вблизи нагретых сферических частиц (размером 50 – 500 мкм), которые получались диспергированием металлических проволок в импульсной электрической дуге [3]. Начальная температура макрочастиц могла варьироваться от температуры плавления соответствующего металла до температуры его кипения. С поверхности сферической частицы происходит интенсивное испарение металла в пространство вблизи частицы (до нескольких ее радиусов), затем — реагирование с газовой средой и конденсация. Таким образом формируются наночастицы к-фазы [4]. Температура окружающего газа при этом падает от тысяч градусов у поверхности частицы (например, для вольфрама 5828 К) до комнатной (293 К) на расстоянии нескольких ее диаметров, а заряд макрочастицы, возникающий за счет термоэмиссии с ее поверхности, создает градиент электрического потенциала. В условиях эксперимента максимальный градиент температуры газа вблизи макрочастицы составлял порядка 10^6 К/м, а напряженность электрического поля порядка 10^5 В/м. Исследование наночастиц к-фазы и условий их образования вблизи нагретых макрочастиц представлялось интересным также и потому, что совокупность вышеперечисленных условий не реализуется в известных способах получения наночастиц, а возможность их задания создает потенциал целенаправленного влияния на состав, строение и размеры наночастиц.

Эксперименты проводились с нагретыми частицами из вольфрама, молибдена, меди и тантала, получаемых в воздухе при нормальных условиях. Размеры наночастиц к-фазы определялись по снимкам, произведенным на просвечивающем электронном микроскопе. На рис. 1 приведена фотография наночастиц к-фазы частицы тантала. Заряд наночастиц к-фазы экспериментально обнаруживался при ударе частицы о поверхность, вблизи которой имеется электростатическое поле, при этом наночастицы, перед осаждением на поверхность, успевают, за счет дрейфа в поле, переместиться на некоторое расстояние (см. рис. 2). Величина смещения к-фазы (по сравнению с положением к-фазы на подложке при отсутствии поля) при осаждении связывалась с величиной заряда наночастиц, их размером и ука-

зывает на различную подвижность частиц. Экспериментально заряд нагретой частицы определялся

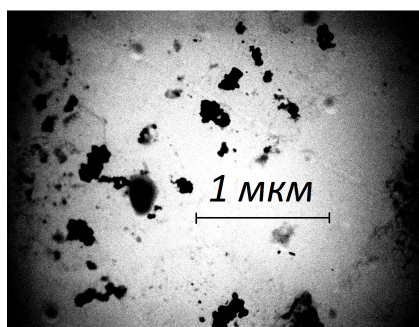


Рис. 1. Наночастицы оксида тантала (изображение, полученное на электронном микроскопе ПЭММ-100-01)

по отклонению траектории ее движения во внешнем однородном электростатическом поле. Величина заряда оказалась порядка 10^{-13} Кл, что соответствовало величине заряда, рассчитанного из полученного выражения для заряда частицы как функции ее температуры, работы выхода с ее поверхности и состава окружающего газа. Проведен анализ возможных механизмов влияния электрического поля на характеристики наночастиц, в частности, на их форму, размер, агломерацию. Отмечено образование аэрогеля из оксидов вольфрама и молибдена, оксиды которых склонны к полимеризации.

В результате исследования установлено, что размер наночастиц к-фазы зависит от расстояния до нагретой частицы и ее температуры (от единиц до сотен нм). Обнаружено наличие зарядовых структур в к-фазе (знак заряда наночастиц изменяется

при удалении от частицы, а его величина зависит от этого удаления и от температуры частицы), что приводит к удержанию наночастиц около нагретой частицы при ее движении в газовой среде. Полученные сведения открывают возможные пути целенаправленного формирования наночастиц заданного размера и состава, формирования покрытий из наночастиц

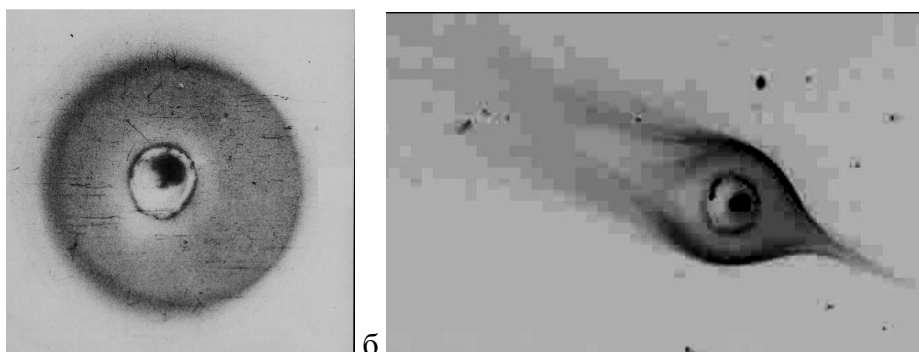


Рис. 2. Частица меди с окружающей ее к-фазой на подложке после движения без внешнего поля (а) и после движения во внешнем электростатическом поле (б)

на поверхности различных материалов с помощью варьирования начальной температуры частицы и состава окружающего газа.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего.– Москва: Эксмо, 2009.
2. Игнагов И.Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития. – Моква: Флинта, 2012.
3. Патент № 51576, України. Спосіб виготовлення гранул з прутка металу або сплаву / Семенов К.І. – 2010. – Бюл. № 14.
4. Lyalin L.A., Semenov K.I., Kalinchak V.V., Kopyt N.Kh. The Temperature Dependence of an Equilibrium Thermoemitting Charge of a Metallic Particle Surrounded with a Nanodisperse Condensed Phase // Ukr. J. Phys. – 2011, Vol. 56, N 12. – P.1294–1298.

N. Kh. Kopyt, K. I. Semenov

The properties of k-phase formed near a heated particle.

The paper presents expressions for calculating the gradient of the thermal and electric fields near heated metal particles. Field values near the particles of molybdenum, tungsten, copper, tantalum, titanium measuring 100 — 400 μm , which were obtained in a pulsed electric arc, were calculated. Photos of nanoparticles of k-phase formed near the particles were obtained on a transmission electron microscope, the data on the sign of the charge was obtained and the possibility to modify the properties of the nanoparticles was shown.

Key words: *nanoparticle, k-phase, synthesis of nanoparticles.*