

Особенности эмиссионных характеристик нанокристаллических материалов

Представляет интерес в общем физическом плане, а также в целях применения в современных технологиях исследование эмиссионных свойств новых, нетрадиционных материалов. Такими материалами могут быть нанокристаллические структуры, приобретшие отличительные свойства под воздействием сильных деформаций, а также различные композиты из порошков.

Нанокристаллические образцы вольфрама исследованы методами просвечивающей электронной микроскопии, полевой ионной и полевой электронной эмиссий. Обнаружены существенные отличия в энергетических распределениях электронов нанокристаллического вольфрама по сравнению с крупнозернистым металлом. Теоретический анализ показал, что обнаруженные отличия обусловлены изменениями работы выхода и уровня Ферми при переводе металла в нанокристаллическое состояние.

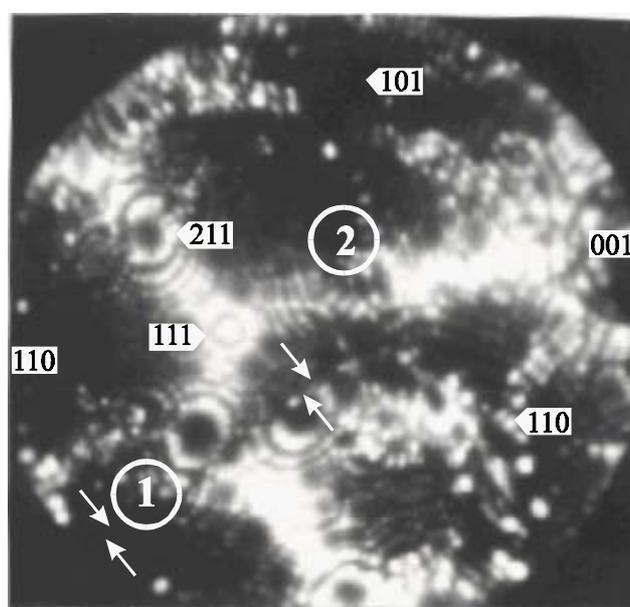
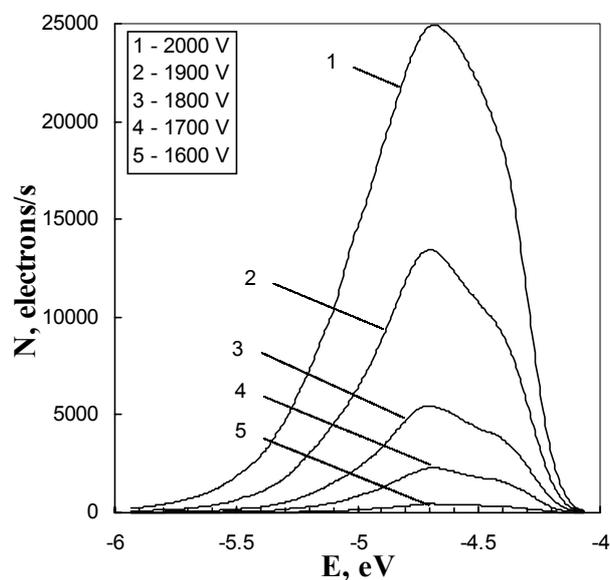
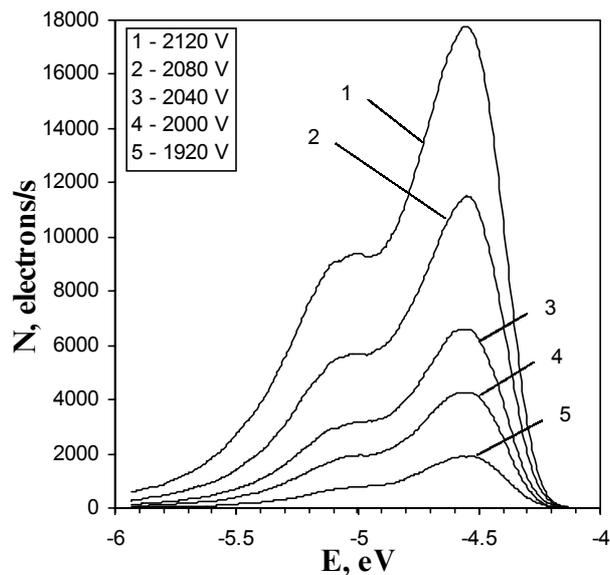


Рис. 1 Полевое ионное изображение поверхности нанокристаллического вольфрама с межзеренной границей (показана стрелками). Окружности 1,2 указывают участки поверхности, для которых приведены распределения автоэлектронов по полным энергиям.



а

б

Рис.2 Распределение автоэлектронов по полным энергиям при различных эмиссионных напряжениях (показаны в поле графиков), полученные для двух областей эмиссионного изображения: а) для области 1 (Рис. 1), содержащей границу зерен; б) для области 2 (Рис. 1), удаленной от границы зерен

Экспериментально измеряемое распределение эмиттированных электронов по полным энергиям представляется в виде

$$N = \frac{j}{e} S f(x; y) \quad (1)$$

$$f(x; y) = \frac{(\exp(x))^y}{1 + \exp(x)} \quad (2)$$

$$x = \frac{\varepsilon - \varepsilon_F}{kT} \quad (3)$$

$$y = \frac{T}{2T_i} = \frac{8\pi\sqrt{2m\varphi}\eta\left(\frac{\sqrt{e^3 E}}{\varphi}\right)}{2ehE}T \quad (4)$$

где j – плотность тока автоэмиссии e – элементарный заряд, S – эффективная площадь эмиссии при снятии спектра, ε_F – энергия Ферми, k – константа Больцмана, T – температура в градусах Кельвина, h – постоянная Планка, m – масса электрона, φ – эмиссионная работа выхода, E – напряженность электрического поля, T_i – температура инверсии, $\eta\left(\frac{\sqrt{e^3 E}}{\varphi}\right)$ –

слабо меняющаяся функция аргумента [12]. Считаем, что для СМК – образца, в частности, на границе зерна, эмиссия суммируется с двух участков с разной работой выхода и разными уровнями Ферми

$$N = N_1 + N_2 = \frac{j_1}{e}S_1 f_1(x; y) + \frac{j_2}{e}S_2 f_2(x; y) = \frac{j_1}{e}S_1 [f_1(x; y) + a f_2(x; y)] \quad (5)$$

$$a = \frac{j_2 S_2}{j_1 S_1} \quad (6)$$

$$f_1(x; y) = \frac{(\exp(x))^y}{1 + \exp(x)} \quad (7)$$

$$f_2(x; y) = \frac{(\exp(x-b))^{\varepsilon y}}{1 + \exp(x-b)} \quad (8)$$

$$b = \frac{\varepsilon_{F_2} - \varepsilon_{F_1}}{kT} = \frac{\Delta\varepsilon_F}{kT} \quad (9)$$

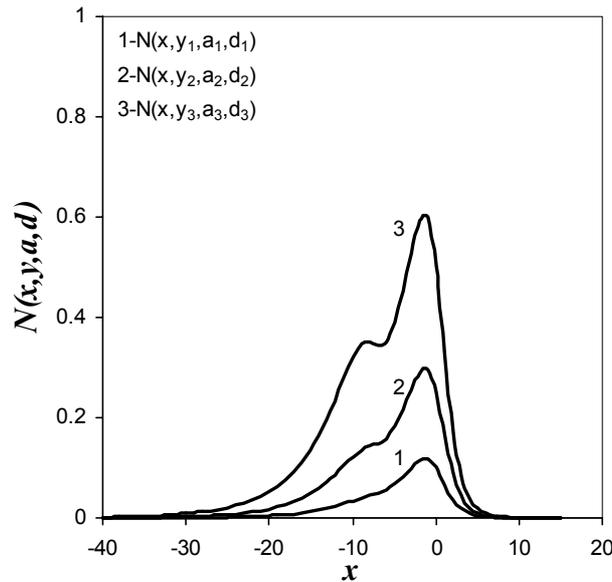


Рис. 3 Расчитанные по формуле (5) распределения по полным энергиям

автоэлектронов при следующих параметрах ($d=jS/e$)

$y_1=0,22; y_2=0,21; y_3=0,2; a_1=0,1; a_2=0,2; a_3=0,3; b=-8; c=0,9; d_1=0,2; d_2=0,5; d_3=1$

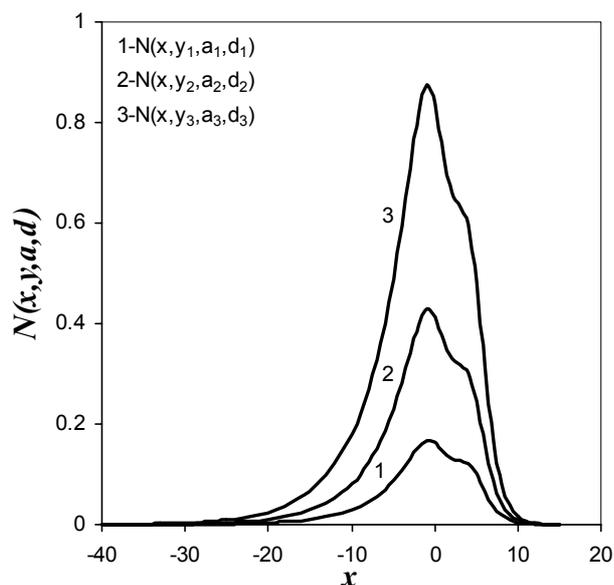


Рис. 4 Распределения по полным энергиям автоэлектронов при параметрах $y_1=0,22; y_2=0,21; y_3=0,2; a_1=0,97; a_2=0,95; a_3=0,93; b=5; c=1,01; d_1=0,2; d_2=0,5; d_3=1$

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. При создании СМК – образцов возникают трубки тока с пониженной работой выхода (граница зерна) и повышенной (небольшое удаление). Это обусловлено изменением в результате деформации плотности упаковки в определенных кристаллографических направлениях. Проведенные исследования открывают перспективы в поисках материалов, у которых указанный эффект был бы более ярко выражен. Это позволит найти пути создания высокоэффективных эмиссионных матриц.

Помимо этого, предложенный метод может оказаться эффективным для анализа электронных свойств новых материалов.