Краткие сообщения по физике № 4-1986 г.

УДК 539.27

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ С ПОМОЩЬЮ ОЧЕНЬ ХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

А.В. Антонов, Н.С. Берюлева, А.И. Исаков, И.В. Мешков, А.Д. Перекрестенко, А.В. Шелагин

Разработан метод определения распределения размеров субмикроскопических неоднородностей среды по зависимости макроскопических сечений рассеяния от длины волны очень холодных нейтронов. Для образца бериллия получено распределение размеров неоднородностей в диапазоне $\sim 0{,}5 \div 10$ нм.

В настоящей работе предлагается метод получения распределения числа неоднородностей по размерам $n(r)$ по зависимости макроскопических сечений упругого некогерентного рассеяния $\Sigma_{es}(\lambda)$ очень холодных нейтронов (ОХН) в диапазоне длин волн 6 нм $< \lambda <$ 13 нм, измеряемой по времяпролетной методике на спектрометре ОХН /1/.

Без ограничения общности предположим, что радиус (в случае сферической формы) неоднородности r лежит в некотором конечном интервале значений $R_1 \leqslant r \leqslant R_2$. Для плотности распределения неоднородностей по размерам $n(r)$ с помощью выражений, приведенных в /1/, сечение рассеяния можно представить в виде

$$\Sigma_{es}(k) = 8\pi^3 (\rho_1 b_1 - \rho_2 b_2)^2 \int_{R_1}^{R_2} F(kr) r^6 n(r)\, dr. \qquad (1)$$

Здесь ρ_i, b_i – плотность и амплитуда когерентного рассеяния i-той фазы рассеивателя; $F(kr)$ – фактор рассеяния, введенный в /1/. Поскольку в экспериментах по рассеянию нейтронов в неоднородных средах определяются Σ_{es} для значений волнового числа нейтрона k в интервале $[k_{max}, k_{min}]$, то соотношение (1) является функционалом $\Sigma_{es}(N)$ для каждого фиксированного k (N – плотность неоднородностей). При этом предполагается непрерывность $\Sigma_{es}(N)$.

Измеряемые в эксперименте зависимости $\Sigma_{es}(k)$ получаются при рассеянии ОХН на большие углы /1/. Поэтому для обращения (1) удобно использовать аналитические методы для определения форм неоднородностей с априорной информацией об их распределении. Наиболее простым и приемлемым является метод модельных оценок /2/. Суть его состоит в том, что делается априорное предположение об аналитическом виде функции $n(r)$.

Для обработки экспериментальных результатов использовалось обобщенное гамма-распределение

$$n(r) = a r^{\alpha} e^{-\beta r^{\gamma}}, \quad r \geqslant 0, \qquad (2)$$

где a, α, β, γ – параметры. Введем величину

$$\Sigma_m(k_i) = 8\pi^3 (\rho_1 b_1 - \rho_2 b_2)^2 W \bar{F}(k_i),$$

где

$$W = \int_{R_1}^{R_2} n(r) r^6\, dr, \quad \bar{F}(k_i) = \int_0^{\infty} F(k_i r)\varphi(r)\, dr, \quad k_{min} \lesssim k_i \lesssim k_{max},$$

$$\varphi(r) = n(r) r^6 / W, \quad \int_0^{\infty} \varphi(r)\, dr = 1,$$

и определим функцию, описывающую степень близости сечения $\Sigma_{es}(k_i)$, измеренного в эксперименте, к модальной характеристике $\Sigma_m(k_i)$,

$$M(W, r_s, \alpha, \gamma) = \sum_{i=1}^{L} [\Sigma_{es}(k_i) - \Sigma_m(k_i)]^2. \qquad (3)$$

Здесь L – число экспериментальных точек; r_s – модальный радиус, определяющий максимальное значение функции $\varphi(r)$. Минимизируя M, получим параметры обобщенного гамма-распределения.

Изложенный метод исследования был применен для определения спектра субмикроскопических неоднородностей бериллия, полученного путем горячего прессования мелкодисперсного порошка. При вычислениях использовалась экспериментальная зависимость $\Sigma_{es}(k)$ /1/, показанная на рис. 1. Результаты расчетов приведены на рис. 2. Минимальное значение (3) достигалось при следующих значениях параметров: $\alpha = 1$, $\gamma = 2$ и $r_s = 6$ нм. Опыт обработки измерений показал, что r_s, W наиболее устойчивы к экспериментальным ошибкам. Надежность определения $n(r)$, а следовательно, распределения относительных объемов неоднородностей $(4/3)\pi r^3 n(r)$ ниже надежности оценок W, r_s. Отметим, что при обработке результатов измерений необходимо выполнение условий:

$$|\Sigma_{es}(k_i) - \Sigma_m(k_i)| \leqslant \sigma_{i\,exp}, \quad i = 1, ..., L.$$

Здесь $\sigma_{i\,exp}$ – экспериментальная погрешность.

Измеренную зависимость $\Sigma_{es}(k)$ можно интерпретировать с помощью среднего объема (среднего радиуса) монодисперсного рассеивателя. Для исследуемого образца бериллия $\overline{R} = 5{,}2$ нм, что находится в хорошем согласии со значением 5,1 нм, полученным в работе /1/.

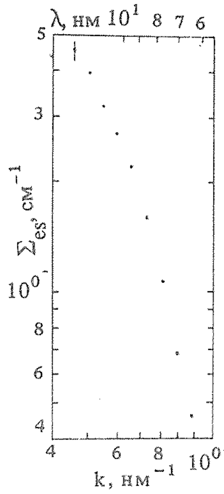

Рис. 1

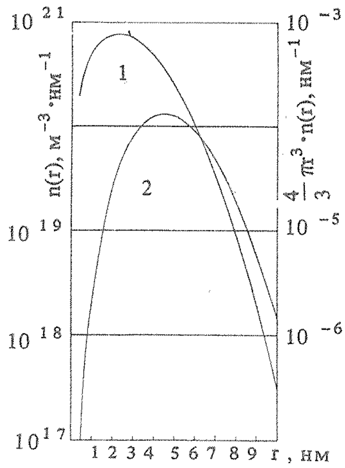

Рис. 2

Р и с. 1. Зависимость макроскопических сечений рассеяния очень холодных нейтронов на неоднородностях бериллия от длины волны.

Р и с. 2. 1 – плотность распределения неоднородностей в Be по размерам n(r); 2 – распределение относительных объемов неоднородностей $(4/3)\pi r^3 n(r)$.

Разработанный метод определения распределения размеров неоднородностей в области $\sim 0{,}5 \div 10$ нм достаточно прост по сравнению с существующими методами малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей.

Авторы благодарны А.В. Степанову за критические замечания и участие в обсуждении полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А н т о н о в А. В., И с а к о в А. И. ФТТ, 26, 1585 (1984).
2. М а к л е н к о Э. В., Н а а ц И. Э. В сб. "Атмосферная оптика". М., Наука, 1974, с. 186; В сб. "Исследование атмосферного аэрозоля методами лазерного зондирования". Новосибирск, Наука, 1980, с. 40.

Поступила в редакцию 21 января 1986 г.