

## МНОГОСЛОЙНЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ (МИС) НА ОСНОВЕ СИЛЬНОПОГЛОЩАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

*А.В.Антонов, Н.В.Галанов, А.И.Исаков, В.И.Микеров*

В работе впервые рассматриваются МИС на основе сильнопоглощающих веществ. Показана возможность их использования для наблюдения, так называемого "металлического" отражения нейтронов, измерения сечения захвата, обнаружения резонансных уровней.

В работах <sup>1,2</sup> было показано, что учет мнимой части ядерного потенциала взаимодействия нейтрона  $ImU$  с сильнопоглощающими веществами, такими как Gd, Cd, Dy и др., приводит к заметному изменению расчетной величины коэффициента отражения нейтронов  $R$ . Величина изменения определяется реальной частью потенциала  $ReU$ , отношением  $ImU/ReU$  и нормальной к поверхности вещества составляющей скорости нейтрона  $v_{\perp}$  <sup>2</sup>: Поскольку отражение происходит от приповерхностного слоя толщиной  $\sim 10 \div 100 \text{ \AA}$ , при экспериментальном определении величины  $R$  существенное значение приобретает знание величины  $ReU$  в этом слое,

которая может отличаться от  $ReU$  в объеме из-за окисления поверхности, наличия на ней примесей, другой, чем в объеме, плотности. В связи с этим возникает вопрос о возможности наблюдения эффекта изменения  $R$  и его использовании.

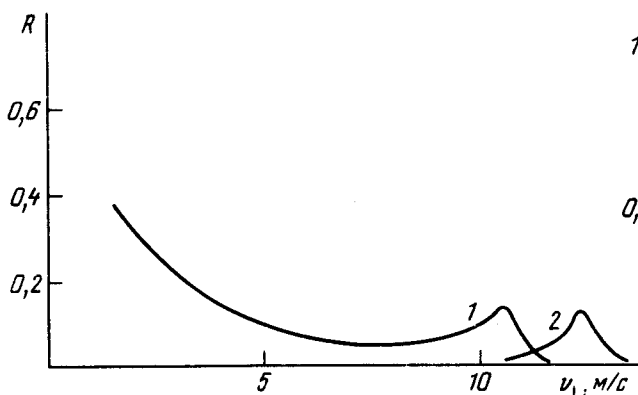


Рис. 1

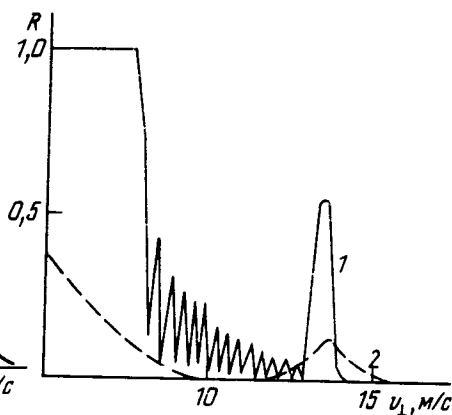


Рис. 2

Рис. 1 Зависимость  $R(v_1)$  для МИС "кадмий - 113, никель - 62" ( $d = 180 \text{ \AA}$ ,  $N = 20$ ; 2 - с учетом лишь мнимой части потенциала слоев кадмия - 113).

Рис. 2. Зависимость  $R(v_1)$  для МИС "гадолиний - 157, никель - 58" ( $d = 180 \text{ \AA}$ ,  $N = 20$ ; 1 - в пренебрежении мнимыми частями потенциалов слоев).

Решение задачи возможно путем создания МИС, состоящей из чередующихся слоев сильно- и слабопоглощающего веществ. Такая структура формирует в пространстве одномерный квазипериодический потенциал. В случае использования веществ с  $ReU_1 = ReU_2$ <sup>1)</sup> изменение потенциала по глубине МИС целиком определяется  $ImU_1$  и  $ImU_2$ . Интерференция нейтронных волн, переотраженных на границах раздела слоев, приводит к отражению от МИС нейтронов с  $v_1$ , определяемой из условия Брегга - Вульфа и когерентному усилению эффектов, связанных с отражением от каждого слоя. Величина коэффициента отражения  $R$  определяется размахом потенциала  $|U_1 - U_2|$ , числом пар слоев  $N$ , величиной периода  $d$ . Для сильнопоглощающих веществ  $|ImU| \ll |ReU|$ , поэтому в МИС  $ImU$  может существенно влиять на величину  $R$ . Наличие рефлекса и величина его амплитуды могут служить как доказательством наличия отражения, обусловленного  $ImU$ , так и для оценки величины  $ImU$ , а, следовательно, и сечения захвата нейтронов. На рис. 1, 2 приведены результаты расчетов зависимости  $R(v_1)$  для МИС из следующих пар материалов:  $^{113}\text{Cd} - ^{62}\text{Ni}$ ,  $^{157}\text{Gd} - ^{58}\text{Ni}$ , а также МИС на основе  $^{157}\text{Gd}$  и  $^{113}\text{Cd}$  с  $ReU_1 = ReU_2$ . В расчетах использовался метод рекуррентных соотношений, предложенный в <sup>3</sup>. Предполагалось, что толщины слоев в МИС  $d_1 = d_2 = d/2$ , сечение захвата следует закону "1/v" ( $ImU = \text{const}$ ). На рис. 1 представлены результаты для структур на основе  $^{113}\text{Cd}$  ( $ReU < 0$ ). Из рисунка видно, что в этом случае наблюдаемый рефлекс практически целиком обусловлен  $ImU$  ( $^{113}\text{Cd}$ ); его величина достигает  $\sim 15\%$ . В случае МИС на основе  $^{157}\text{Gd}$  ( $ReU > 0$ ), (рис. 2) амплитуда рефлекса составляет  $\sim 13\%$  для МИС  $^{157}\text{Gd} - ^{58}\text{Ni}$  (кривая 2). Для случая скомпенсированной реальной части потенциала ( $ReU_1 = ReU_2$ ) зависимость  $R(v_1)$  практически совпадает с кривой 2 и поэтому не показана на рисунке. Видно значительное изменение  $R$ , обусловленное использованием в МИС сильнопоглощающего ве-

<sup>1)</sup> Компенсация реальной части потенциала МИС может быть достигнута использованием для изготовления слоев смесей изотопов.

щества. Из рисунка также видно размытие квазистационарных уровней (кривая 1), характерных для разрешенных зон МИС из слабопоглощающих веществ, что, в некоторых случаях, также может быть использовано для измерения  $\text{Im}U$ . Для МИС на основе  $^{157}\text{Gd}$  можно отметить влияние  $\text{Im}U$  на характер зависимости  $R(v_{\perp})$  при  $v_{\perp} \rightarrow 0$ .

Мнимая часть потенциала  $\text{Im}U$  может резко возрастать в случае резонансного захвата нейтронов. На рис. 3 представлены результаты расчета зависимости амплитудного значения  $R$  в рефлексе от полной скорости нейтрона для МИС  $^{151}\text{Eu} - \text{V}$  ( $E_R = 6 \cdot 10^{-4} \text{эВ}$ ,  $\Gamma \cong 6,7 \cdot 10^{-2} \text{эВ}$ ). На этом же рисунке приведены результаты расчета для случая  $\text{Re}U_1 = \text{Re}U_2 = 0$  (кривая 2). Из рисунка видно, что величина изменения  $R$  в области резонанса составляет  $\geq 10\%$ . Аналогичные расчеты были выполнены для МИС на основе  $^{235}\text{U}$  (кривые 3, 4; рис. 3). ( $E_R = -0,02 \text{эВ}$ ,  $\Gamma \cong 1,2 \cdot 10^{-1} \text{эВ}$ ). Кривая 3 отвечает структуре с  $\text{Re}U_1 = \text{Re}U_2 = 0$ , кривая 4 – структуре МИС  $^{235}\text{U} - \text{Sb}$ . Изменения  $R$  в этих случаях составляет  $\cong 25\%$  и  $\cong 10\%$ . Из приведенных примеров следует, что МИС вполне могут быть использованы для поиска резонансных уровней в широкой области энергий для веществ с сечением захвата  $\sigma \geq 100 \text{бн}$ .

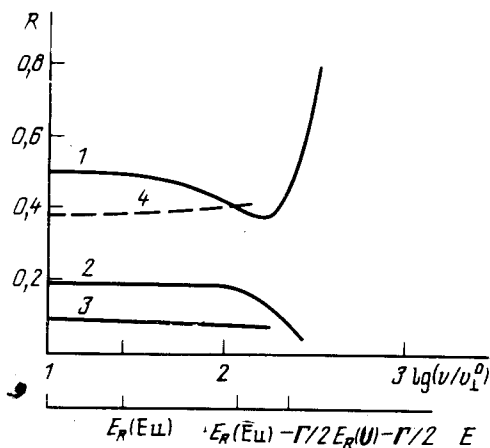


Рис. 3. Зависимость амплитудного значения  $R$  в рефлексе от скорости нейтрона для МИС: 1, 2 – "европий – 151, ванадий" ( $d = 160 \text{А}$ ,  $N = 30$ ); 2 – с учетом лишь мнимой части потенциала европия – 151); 3 – "уран – 235, ванадий" ( $d = 200 \text{А}$ ,  $N = 300$ ); 4 – "уран – 235, олово" ( $d = 160 \text{А}$ ,  $N = 300$ ).  $v_{\perp}^0$  – нормальная составляющая скорости нейтрона, соответствующая амплитудному значению  $R$ .

В заключение заметим, что создание МИС с периодом  $\sim 100 \text{А}$  не является проблемой для современного уровня развития технологии вакуумного напыления. Важно, также, что структура потенциала создаваемых МИС может быть определена рентгено-оптическими и другими методами.

#### Литература

1. Гуревич И.И., Немировский П.Э. ЖЭТФ, 1961, 41, 1175.
2. Айбергенов Т.А., Антонов А.В., Исаков А.И., Микеров В.И. Сб. Кр. сообщения по физике ФИАН 1979, №7, 30.
3. Антонов А.В., Исаков А.И., Микеров В.И., Старцев С.А. Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, 632.