

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТОНКИХ МОНОКРИСТАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ЗОЛОТА

А.Т.Пугачев, А.Г.Багмут, Н.П.Чуракова, Ю.А.Волков

Методом дифракции быстрых электронов на просвет определены коэффициенты теплового расширения пленок золота толщиной ~ 4 нм и поверхностного атомного слоя.

Тепловое расширение пленок толщиной ($t < 10$ нм) определяется вкладом не только объемных, но и поверхностных и приповерхностных слоев. Экспериментально коэффициент теплового расширения тонких пленок может быть измерен методом дифракции электронов высоких энергий на просвет (ТНЕЕД) по температурному смещению дифракционных максимумов. На электронограммах от очень тонких монокристалльных пленок наряду с отражениями от объема могут присутствовать при определенных условиях рефлексы от поверхностных атомных слоев. Такая ситуация возникает, например, при нецелом числе элементарных ячеек по толщине пленки. Это обстоятельство открывает интересные возможности изучения структуры и свойств поверхности методом ТНЕЕД.

Экспериментально методом ТНЕЕД измерен коэффициент линейного расширения тонкой пленки (α_{Π}) и наружного атомного слоя (α_s). Объектами исследования были очень тонкие $t \sim 4$ нм монокристалльные пленки Au с ориентировкой (001), полученные путем лазерного испарения золота в вакууме $\sim 10^{-5}$ Па на (001) сколы KCl при комнатной температуре. После отделения в воде пленки вылавливались на поддерживающие сеточки. Наряду с характерными для (001) ориентировки отражениями на электронограммах присутствовали запрещенные структурным фактором рефлексы с индексами разной четности, например, (110), (130), (330) (рис. 1).

Электронографически наклонными съемками установлено, что эти отражения в обратном пространстве являются стержнями длиной $\sim 1 \text{ \AA}^{-1}$, что соответствует дифракции на слое $\sim 0,5$ периода решетки золота (a_0). Можно показать, что для ориентировки (001), которую можно представить как чередование слоев $AB AB \dots$ в направлении [001], указанные запрещенные рефлексы будут появляться при нечетном числе слоев, т. е. при целом числе ГЦК ячеек по толщине пленки. Электронномикроскопические исследования показали, что пленки являются сплошными, содержат дефекты упаковки (ДУ) по плоскостям (111), плотность которых составляет $\sim 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Благодаря ступенькам на поверхности KCl в процессе конденсации по обе стороны ДУ образуется целое и полуцелое число

ГЦК ячеек по толщине пленки (рис. 2). Отметим, что рефлексы типа (110) от поверхности монокристалльной пленки Au наблюдались, например, в работе ¹.

Коэффициенты линейного расширения пленки ($\alpha_{\text{п}}$) определялись по смещению матричных рефлексов типа (200) и (220), а поверхностного слоя (α_s) – по смещению рефлексов (310) в интервале температур от комнатной до азотной. Инструментальные ошибки, обусловленные изменением расстояния образец – фотопластинка и возможной нестабильностью ускоряющего напряжения, учитывались при помощи катетометра и эталона ². Точность определения α составляла $\pm 2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

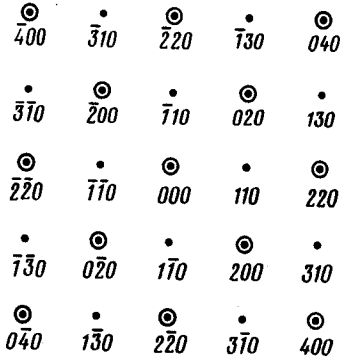


Рис. 1. Схема электронограммы от (001) монокристалльной пленки золота толщиной ~ 4 нм: \circ , \bullet – рефлексы от объема и поверхности соответственно

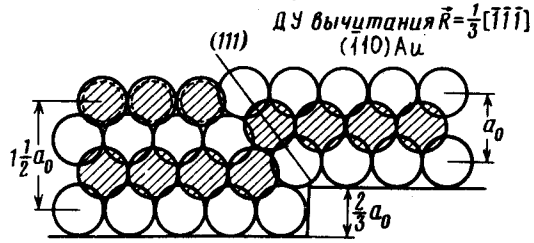


Рис. 2. Модель формирования незавершенных ГЦК ячеек в области пересечения плоскости дефекта упаковки с поверхностью пленки. Плоскость рисунка совпадает с (110) Au

Установлено, что $\alpha_{\text{п}}$ равно $\sim 31 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Это в $\sim 2,5$ раза превышает значение коэффициента термического расширения массивного золота (α_v) для указанного интервала температур ($13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Отметим, что значения $\alpha_{\text{п}}$, определенные по отражениям (200) и (220) близки между собой. Это свидетельствует о том, что эффект обусловлен термическим расширением, а не действием термоупругих деформаций, поскольку модули упругости в этих направлениях отличаются приблизительно в два раза. Величина α_s для (001) поверхности золота составляла $\sim 46 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

В первом приближении $\alpha_{\text{п}}$ можно представить в виде

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_v + 2(\alpha_s - \alpha_v) \frac{\Delta t}{t}, \quad (1)$$

где Δt – приповерхностный слой, отличающийся по динамике решетки от объемных слоев.

Из (1) следует, что при известных значениях $\alpha_{\text{п}}$, α_v , α_s , t величина Δt равна 1 нм. Это значение согласуется с оценками теории ³. Величина коэффициента термического расширения поверхностного слоя в направлении, параллельном поверхности пленки, приблизительно в два раза выше теоретического.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.С.Палатнику и В.М.Косевичу за обсуждение результатов работы.

Литература

1. *Krakow W.* Sur. Science, 1981, 111, 503.
2. *Пугачев А.Т., Чуракова Н.П.* Заводская лаборатория, 1980, №8, 737.
3. *Марадудин А.* Дефекты и колебательный спектр кристаллов, М.: Мир, 1968.