

[8] Кузнецов В.Р., Прасковский А.А., Сабельников В.А. // Изв. АН СССР. Мех. жид. газа. 1988. № 6. С. 51-59.

Институт космических исследований АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию 6 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 16

26 августа 1990 г.

11

© 1990

НАБЛЮДЕНИЕ НЕЗЕРКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ В СВЕРХМАЛОУГЛОВОМ РЕНТГЕНОВСКОМ РАССЕЯНИИ ОТ ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ТОНКОЙ ПЛЕНКИ

С.Р. Саркисов, Э.Р. Саркисов

В первых работах по изучению эффекта Ионеды [1, 2] причиной возникновения аномальной волны в рентгеновском рассеянии от гладкой поверхности в условиях полого внешнего отражения (ПВО) считалась шероховатость поверхности, изменяющая углы скольжения части рентгеновских лучей, а также указывалось на перспективность применения этого эффекта для определения параметров шероховатости и химического загрязнения поверхностного слоя. В последнее время предлагаются и другие интерпретации (см., например, [3-5]). Однако до сих пор нет строгой теории дифференциальных кривых ПВО (ДКПВО), описывающей поведение незеркальной компоненты в рентгеновском рассеянии в широком диапазоне углов скольжения.

В работе [5] сделана попытка в рамках единой модели исследовать индикатрису рентгеновского рассеяния от слабшероховатой поверхности как в традиционной ситуации, когда угол скольжения θ_i больше критического угла θ_c ПВО (т.е. в условиях для проявления эффекта Ионеды), так и в новой ситуации, когда $\theta_i < \theta_c$. В частности, анализ показал, что в случае $\theta_i < \theta_c$ и малых радиусов корреляции высот шероховатостей максимум индикатрисы может существенно удаляться от зеркального пика и всегда располагается вблизи критического угла, независимо от θ_i в рассматриваемом угловом диапазоне, т.е. в угловом спектре рассеянного излучения появляется аномальный пик. Этот факт в рентгеновском рассеянии ранее не наблюдался.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований рассеяния жесткого рентгеновского излучения в условиях ПВО от гладкой поверхности и тонкой пленки. Основной целью работы было наблюдение в рентгеновском сверхмалоугловом рассеянии ($\theta_i \ll \theta_c$) незеркальной компоненты в виде аномального

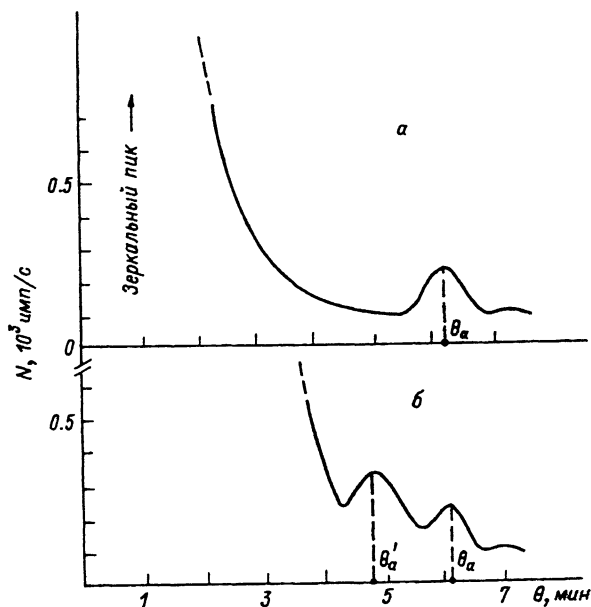
пика в угловом спектре. Сверхмалые углы скольжения выбраны не случайно: во-первых, в связи с техническими затруднениями, эта область углового диапазона мало исследована в рентгенооптических экспериментах, во-вторых, ставить подобные эксперименты при θ_i , сравнимых с θ_c , представляется менее перспективным, поскольку при θ_i чуть меньших θ_c слабый аномальный пик будет незаметен на фоне близкорасположенного интенсивного зеркального пика, а при $\theta_i > \theta_c$ ожидаемый эффект, как бы ни разнились между собой его интерпретации в [5] и „классический“ эффект Ионеды, будет невозможно отличить от последнего.

Измерения проводились на рефлектометре, созданном на основе двухкристального рентгеновского дифрактометра и позволяющем устанавливать и измерять малые углы скольжения и рассеяния, порядка 10^{-5} рад. В качестве исходного пучка использовался монокроматический пучок $\text{MoK}\alpha_1$ -излучения ($\lambda \approx 0.7 \text{ \AA}$) лентообразной формы, полученный с помощью кварцевого кристалл-монократора и ряда щелей, и имеющий следующие параметры: угловая расходимость в плоскости рассеяния $\lesssim 6$, ширина в районе образца $\lesssim 10^{-2}$ мм, высота 4 мм.

Образцами служили стеклянные пластины, одинаково отполированные с обеих сторон (параметр шероховатости $\zeta \approx 120 \text{ \AA}$) и содержащие на одной стороне тонкую ($\approx 50 \text{ \AA}$) пленку органического происхождения, т.н. фоторезист.

Предварительные измерения нескольких ДКПВО при $\theta_i > \theta_c$ продемонстрировали неразличимость этих кривых для чистой стеклянной поверхности и поверхности с нанесенной пленкой, что свидетельствует о нечувствительности „классического“ эффекта Ионеды к присутствию столь тонкой пленки на поверхности образца.

На рис. 1, а приведена ДКПВО, измеренная на чистой поверхности при сверхмалом угле скольжения $\theta_i = 20$, т.е. при $\theta_i \approx 0.05\theta_c$. В этом случае высокоинтенсивный зеркальный пик располагается практически в области нулевого углового положения, за которое везде в данной работе принята поверхность образца. Угловое положение аномального пика приблизительно такое же, как и в эффекте Ионеды, т.е. $\theta_d \approx \theta_c$. Следует отметить, что наличие аномально рассеянного рентгеновского пучка при сверхмалых углах скольжения наблюдается впервые. Поскольку никаких специальных предположений о радиусах корреляции высот шероховатостей нами не делалось и отбора образцов по этому параметру не проводилось, представляется маловероятным, что наблюдаемый пик обусловлен предсказанным в [5] эффектом, где для его проявления необходима малость размера этих радиусов. Скорее всего, аномальный пик – проявление более общего эффекта, возможно даже полностью совпадающего по своей природе с тем же эффектом Ионеды, хотя последний и наблюдался исторически только при $\theta_i > \theta_c$. По-видимому, аномальный пик в сверхмалоугловом рентгеновском рассеянии не наблюдался ранее только по техническим причинам – в связи с невысоким угловым разрешением метода измерений и использованием недостаточно тонких и слаборасходящихся пучков.



На рис. 1, б дана ДКПВО, измеренная при $\theta_i = 20$ на поверхности стекла с пленкой. Из сравнения с рис. 1, а видно, что кроме интенсивного зеркального и слабого аномального пиков, аналогичных имеющимся на рис. 1, а, появился дополнительный слабоинтенсивный пик, угловое положение которого $\theta'_\alpha < \theta_\alpha$. Можно предположить, что этот аномальный пик, как и первый, обусловлен микрогеометрией поверхности, только не стекла, а пленки. Тот факт, что пик от пленки расположен левее пика от стекла, подтверждает более малую величину критического угла для материала пленки ($\approx 4.6'$) по сравнению с критическим углом для стекла ($\approx 6.7'$).

Таким образом, независимо от того, какую природу имеют обнаруженные пики (т.е. объясняются ли они „классическим“ эффектом Ионеды или имеют иное происхождение), очевидно, что в сверхмалом угловом варианте методика получения ДКПВО выигрывает, становясь чувствительной к наличию тонкой пленки. По-видимому, повышение чувствительности метода связано с увеличением пути рентгеновских лучей в пленке.

Дальнейшие исследования показали, что при уменьшении θ_i от 20 к нулю картина, содержащая два аномальных пика, сохраняется; более того, по неясной пока причине, оба пика наблюдаются и при небольших отрицательных значениях θ_i , причем при $-80'' \leq \theta_i \leq 0$

аномальные пики лучше разрешены и более интенсивны, чем при положительных θ_i . Обнаружено, что угловые положения аномальных пиков не зависят от θ_i .

Полученные результаты, помимо самого факта наблюдения аномальных пиков при сверхмаломугловом рентгеновском рассеянии, могут представить интерес и в прикладном смысле. Так, пользуясь математическим аппаратом работы [4] или работы [5] (в зависимости от механизма образования наблюдаемых пиков, который предстоит выяснить), можно определять различные параметры поверхностей как подложки, так и пленки.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Y o n e d a Y. // Phys. Rev. 1963. V. 131. P. 2010.
- [2] W a r r e n B.F., C l a r k e J.S. // J. Appl. Phys. 1965. V. 36. P. 324.
- [3] А н д р е е в а М.А., Б о р и с о в а С.Ф., С т е п а н о в С.А. // Поверхность. 1985. № 4. С. 5-26.
- [4] Г о р о д н и ч е в Е.Е., Д у д а р е в С.Л., Р о г о з - к и н Д.Б., Р я з а н о в М.И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. В. 3. С. 137-139.
- [5] В и н о г р а д о в А.В., З о р е в Н.Н., К о ж е в н и - к о в И.В., С а г и т о в С.И., Т у р ь я н с к и й А.Г. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. В. 8. С. 203-216.

Поступило в Редакцию
6 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 16

26 августа 1990 г.

05.2

© 1990

К ВОПРОСУ О СВЕРХВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНА

А.Н. И о н о в, В.М. Т у ч к е в и ч

Экспериментально показано, что в образовании высокопроводящих каналов в тонких пленках полипропилена, находящегося в высокоэластическом состоянии, принимает участие материал электродов.

В последнее время в ряде работ [1-5] исследовался эффект аномально высокой локальной проводимости в тонких пленках атактического полипропилена (ПП), находящихся в высокоэластическом состоянии и предварительно подвергнутых обработке (окислению