

01; 02; 11

© 1990

О РАССЕЯНИИ ГЕТЕРОЯДЕРНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ НА АТОМЕ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ АТОМА ОТДАЧИ

Б.И. К и к и а н и, В.Н. К и р и к а ш в и л и,
О.Б. Ф и р с о в

Рассмотрим рассеяние гетероядерных молекулярных ионов на атоме поверхности на малые углы при киловольтных энергиях и учетом движение атома отдачи.

Условие недиссоциации молекулярного иона состоит в следующем:

$$E_{от} < E_{дис}, \quad (1)$$

где $E_{от}$ и $E_{дис}$ — энергия относительного движения и энергия диссоциации молекулярного иона соответственно.

Потенциальная энергия взаимодействия атомов при рассеянии на малые углы θ , порядка $\sim E_0 \theta$ (E_0 — энергия ударяемого атома). При $E_0 = 10$ кэВ и $\theta < \sqrt{6}$, $U < 5$ кэВ. Этому соответствует прицельный параметр $\rho \approx 10^{-9}$ см, который на порядок меньше, чем расстояние d между ядрами двухатомного иона. Поэтому взаимодействие ударяемых атомов можно считать мгновенным.

Конкретно, при взаимодействии N_2^+ ($d \approx 1,12 \cdot 10^{-8}$ см) с атомом меди Cu с $U = 5$ кэВ, получаем $\rho \approx 1,9 \cdot 10^{-9}$ см.

Если приобретенный во время столкновения относительный импульс равен нулю (т.е. атомы рассеиваются на одинаковые углы),

$$\vec{P}_{от} = 0, \quad (2)$$

то условие (1) выполняется всегда, поскольку

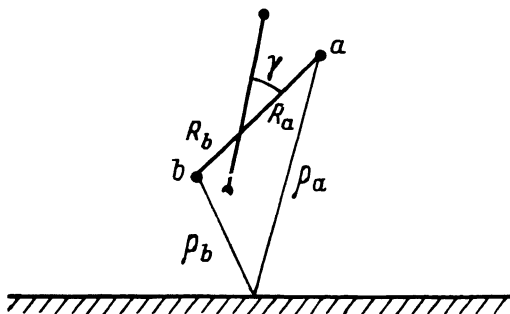
$$E_{от} = \frac{\vec{P}_{от}^2}{\mu}, \quad (3)$$

где μ — приведенная масса молекулярного иона.

Для гомоядерных молекулярных ионов условие (2) означает, что прицельные параметры атомов должны быть одинаковые. Но это неправильно, если учесть движение рассеивающего атома [1], который при первом столкновении получает энергию

$$E_1 = \frac{m}{M} E_0 \theta^2, \quad (4)$$

где E_1 и M — энергия и масса атома отдачи, E_0, m — энергия и



Угол разворота γ оси молекулярного иона.

масса ударяемого атома, θ – угол рассеяния. За время $t = \frac{R_0}{V_0}$ (R_0 – расстояние между атомами молекулярного иона, V_0 – скорость иона), которое нужно второму атому молекулярного иона, чтобы долететь до атома отдачи и взаимодействовать с ним, атом отдачи переместится на расстояние $R_0 \frac{V}{V_0}$ (V – скорость атома отдачи). Чтобы выполнялось условие (2), второй атом молекулярного иона надо сместить с траектории первого атома на расстояние $R_0 \frac{V}{V_0}$, т.е. угол между осью иона и направлением движения должен равняться

$$\beta = \frac{V}{V_0} = \frac{m}{M} \theta. \quad (5)$$

Если молекулярный ион состоит из разных атомов, то для выполнения условий (2) прицельные параметры атомов молекулярного иона должны быть разными $\rho_a \neq \rho_b$, если не учесть движение атома отдачи. В таком случае угол между осью молекулярного иона и направлением движения равняется

$$\beta = \frac{|\rho_a - \rho_b|}{R_0}. \quad (6)$$

При учете движения атома отдачи [2] следует рассмотреть два случая.

1) Первым летит легкий атом „а“.

Атом отдачи при столкновении с атомом „а“ приобретает скорость

$$V_1 = \frac{m_a}{M} V_0 \theta.$$

Пока атом „в“ пройдет расстояние $R_0 \beta$ до столкновения, атом отдачи переместится на расстояние

$$L_1 = R_0 \beta \frac{V_1}{V_0}.$$

Чтобы выполнялось условие (2), на такую же величину надо сместить атом „в“. Тогда угол между осью иона и направлением движен быть

$$\beta_1 = \frac{\rho_a - \rho_b + R_0 \beta V_1 / V_0}{R_0} = \left(1 + \frac{m_a}{M} \theta\right) \beta. \quad (7)$$

2) Первым летит тяжелый атом „в“. Соответствующие величины имеют следующие значения:

$$V_2 = \frac{m_b}{M} V_0 \theta,$$

$$l_2 = R_0 \beta \frac{V_2}{V_0},$$

$$\beta_2 = \frac{\rho_a - \rho_b - R_0 \beta \frac{V_2}{V_0}}{R_0} = \left(1 - \frac{m_b}{M} \theta\right) \beta. \quad (8)$$

Как видно из (7) и (8), для выполнения условия (2), в зависимости от того, какой атом (легкий или тяжелый) летит первым, угол между осью молекулярного иона и направлением движения меняется по-разному.

Энергия диссоциации гетероядерного молекулярного иона

$$E_{от} = \frac{E_a \cdot E_b}{E} \Delta^2, \quad (9)$$

где E_a, E_b – энергия атомов „а“ и „в“ соответственно, $E = E_a + E_b$ – полная энергия молекулярного иона, Δ – угол разлета атомов „а“ и „в“.

$$\Delta = |\theta_a - \theta_b| = \left| \frac{\partial \theta}{\partial \rho_a} \delta \rho_a - \frac{\partial \theta}{\partial \rho_b} \delta \rho_b \right|, \quad (10)$$

где

$$\delta \rho_a \approx \gamma R_a = \gamma \frac{m_b}{m_a + m_b} R_0, \quad (11)$$

$$\delta \rho_b \approx -\gamma R_b = -\gamma \frac{m_a}{m_a + m_b} R_0,$$

γ – угол разворота молекулярного иона (рис. 1).

Максимальный угол разлета, исходя из (1) и (9), равняется

$$\Delta_{max}^2 = \frac{E_{дис} \cdot E}{E_a \cdot E_b}. \quad (12)$$

Используя (10), (11) и (12) получаем, что максимально допустимый угол разворота молекулярного иона, при котором не происходит диссоциация равняется

$$J_{max} = 2 \left(\frac{E_{гис} \cdot E}{E_a \cdot E_b} \right)^{1/2} \frac{m_a + m_b}{\left| m_b \frac{\partial \theta_a}{\partial \rho_a} + m_a \frac{\partial \theta_b}{\partial \rho_b} \right|}, \quad (13)$$

а вероятность этого процесса вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{J_{max}}{\pi}.$$

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] П а р и л и с Э.С., К и ш и н е в с к и й Л.М. и др. // Атомные столкновения в газах и на поверхности твердого тела. Ташкент, Фан, 1988. С. 58-59.
- [2] Б и т е н с к и й И.С., П а р и л и с Э.С. // Труды УП Всесоюзной конф. по взаимодействию атомных частиц с твердым телом. Минск, 1984. С. 3-4.

Поступило в Редакцию
15 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 23

12 декабря 1990 г.

07; 12

© 1990

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В СЛУЧАЕ СТУПЕНЧАТОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА

В.В. А р и с т о в, А.В. К у ю м ч я н,
А.А. С н и г и р е в

Область рентгеновской оптики как для мягкого, так и жесткого диапазона волн быстро развивается в последние годы. Аналитическое решение этих задач в коротковолновом диапазоне сложнее, потому что надо учитывать, динамические эффекты. В этой области появился ряд работ [1-5], которые, с одной стороны, открывают новые возможности для решения диагностических задач, с другой стороны, позволяют создавать новые рентгенооптические элементы, с помощью которых можно коллимировать, фокусировать, модулировать, а также управлять модулированным излучением.

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты исследования динамической дифракции рентгеновских лучей в случае периодического ступенчатого рельефа на поверхности кристалла Si.