

6. Кубашевский О. Диаграммы состояний двойных систем на основе железа. М., 1985.
7. Бурханов Г. С., Илюшин А. С., Хатанова Н. А. и др. // Изв. РАН, Металлы. 1994. № 5. С. 163.
8. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М., 1961.

Поступила в редакцию
30.06.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 2

УДК 539.172

ДИФРАКЦИЯ МЁССБАУЭРОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СОВЕРШЕННОМ КРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

А. А. Опаленко, А. А. Корнилова, О. Г. Кошелев

*(кафедра оптики и спектроскопии;
кафедра физики твердого тела)*

Изучено влияние ультразвука (УЗ) на динамическую дифракцию мёссбауэровских гамма-квантов в монокристалле кремния. В геометрии Брэгга измерены полная интенсивность и ее упругая часть для рефлексов (111), (333), (444) и (220), (440) при воздействии высокочастотного УЗ (поперечные волны). Наблюдается уменьшение и осцилляция интенсивности упругого рассеяния с ростом УЗ-амплитуды, что противоречит результатам предшествующих работ [1, 2].

1. Введение

Изучение влияния ультразвука на динамическую дифракцию проводилось в ряде работ [1—3]. Интенсивность брэгговских рефлексов для рентгеновского излучения с ростом амплитуды ультразвука увеличивается. Это увеличение зависит от соотношения длины волны излучения и длины волны ультразвука (УЗ). Но энергетический анализ дифрагированного пучка — разделение интенсивности на упругую и неупругую компоненты — невозможен из-за большой собственной ширины спектральной линии рентгеновского излучения. И только исследование дифракции мёссбауэровского излучения с шириной спектральной линии $\Gamma=10^{-8}$ эВ (для ^{57}Fe) позволяет определять изменение энергии излучения, возникающее при УЗ-возбуждении кристалла на частотах 50—200 МГц. Первый мёссбауэровский эксперимент [1] обнаружил возрастание общей интенсивности рефлекса с ростом амплитуды УЗ и выявил поведение упругой компоненты интенсивности. Получено [1], что на частотах УЗ меньше пороговой частоты $\nu_{\text{пг}}$, упругая компонента интенсивности значительно уменьшается с ростом амплитуды УЗ. За пороговую частоту принимается частота, соответствующая длине волны, равной длине экстинкции. А для частот больше пороговой (при поперечной УЗ-волне) наблюдается увеличение упругой компоненты интенсивности, что соответствует аномальному фактору Дебая—Валлера.

2. Эксперимент

Разделение интенсивности γ -квантов, рассеянных под брэгговским углом от кристалла кремния, на упругую и неупругую компоненты проводилось мёссбауэровским методом. Использовался источник ^{57}Co в матрице родия активностью 130 мКи в сочетании с поглотителем из сплава FeAl, в состав которого входило железо, содержащее 95% ^{57}Fe .

Были изготовлены два образца совершенного кремния с отражающими плоскостями (111) и ($\bar{1}\bar{1}0$). На них были нанесены пьезопреобразователи из ниобата лития, возбуждающие поперечные волны с вектором смещения, параллельным вектору дифракции H^*). В образце (111) полоса УЗ-частот составляла 140—170 МГц, что выше $\nu_{th} = 90$ МГц для рефлекса (333) [1] и 98 МГц для рефлекса (444). В образце ($\bar{1}\bar{1}0$) возбуждались УЗ-колебания с частотами 155—185 МГц, что выше $\nu_{th} = 127$ МГц рефлекса ($4\bar{4}0$). Типичные мёсбауэровские спектры представлены на рис. 1. Центральная линия спектра на рис. 1, б соответствует упругому рассеянию γ -квантов, спутники — неупругому рассеянию с поглощением и испусканием фононов.

Для каждого рефлекса при фиксированной УЗ-частоте измерялась общая интенсивность I_∞ (источник и поглотитель вне резонанса) и I_0 (в резонансе) в зависимости от амплитуды УЗ ω , которая пропорциональна напряжению, приложенному к пьезопреобразователю. Величина $\Delta I = (I_\infty - I_0) / I_\infty$ пропорциональна доле упругого рассеяния. Результаты измерений приведены на рис. 2, кривые А. Кривые В отражают изменение полной интенсивности I_∞ при УЗ-возбуждении: $(I_\infty(\omega) - I_\infty(0)) / (I_\infty(0) - I_b)$, где I_b — интенсивность фона вблизи брэгговского угла.

После этого образцы были сошлифованы с помощью абразива с зерном диаметром 20 мкм, и уже для мозаичных кристаллов были проведены измерения и получены кривые В. Оказалось, что интенсивность брэгговских рефлексов I_∞ увеличилась вдвое по отношению к I_∞ совершенного кристалла, и она перестала зависеть от амплитуды УЗ.

3. Обсуждение результатов

Итак, мы наблюдаем в совершенном кристалле кремния динамическую дифракцию γ -квантов. Полученные зависимости для интенсивности рефлексов $I_\infty(H\omega)$ (рис. 2, кривые В) коррелируют с рентгеновскими данными [3]. Кривые А на рис. 2 дают нам информацию о характере взаимодействия между γ -квантами и УЗ-фононами. Упругая компонента интенсивности, как видно из рис. 2 (кривые А), уменьшается пропорционально амплитуде УЗ-волны ω и величине вектора дифракции H , как и должно быть при нормальном факторе Дебая—Валлера. В работе [1] обнаружен аномальный фактор Дебая—Валлера для рефлексов (333) и (444) при условии $\nu_{th}/\nu_s = 0,68$ и $0,74$ соответственно (УЗ-частота $\nu_s = 132$ МГц). В нашем эксперименте это отношение для рефлекса (333) составляло $0,64$ на частоте $\nu_s = 142$ МГц и $0,54$

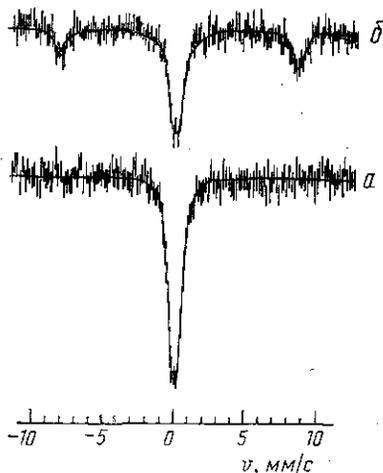


Рис. 1. Мёсбауэровские дифракционные спектры для рефлекса ($2\bar{2}0$): а — без воздействия ультразвука, б — с ультразвуковым возбуждением на частоте 95 МГц

*) Пьезокристаллы на поверхности кремния были изготовлены в НИИ «Полус».

при $\nu_s=165$ МГц и соответственно 0,69 и 0,59 — для рефлекса (444) (рис. 2, а). Для рефлекса (440) (рис. 2, б) это отношение составляло 0,80 на частоте $\nu_s=158$ МГц и 0,70 — на частоте $\nu_s=182$ МГц. Однако в нашем эксперименте аномальный фактор Дебая—Валлера не обнаружен. Кстати, интенсивности рефлексов (111) и (220) в зависимости от параметра $H\omega$ описываются этими же кривыми, хотя для них отношение частоты пороговой к частоте УЗ становится больше единицы. И, следовательно, зависимость интенсивности упругого рассеяния от УЗ-амплитуды не изменяется при переходе через пороговую частоту.

В наших результатах есть еще одна особенность, не наблюдавшаяся в [1] — это наличие осцилляции интенсивности на кривых А рис. 2. Осцилляции интенсивности мёссбауэровских линий первым наблюдал Мкртчян [4] при работе с поликристаллами в геометрии на поглощение. В работе [1], по нашему мнению, для наблюдения осцилляции не достигнута необходимая амплитуда УЗ, хотя эти же авторы получили осцилляции при дифракции в геометрии Лауэ [2].

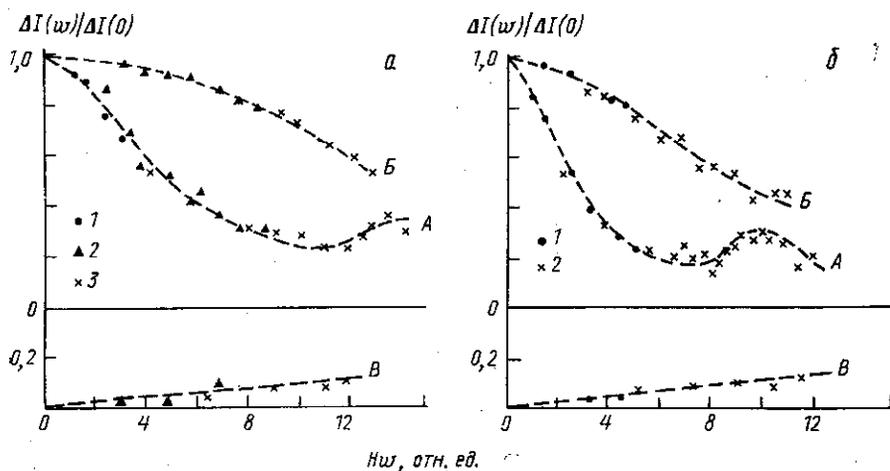


Рис. 2. Интенсивность упругого рассеяния в совершенном (А) и мозаичном (В) кристалле; В — полная интенсивность рассеяния в совершенном кристалле. На рис. 2, а значки соответствуют рефлексам (111) — 1, (333) — 2, (444) — 3; на рис. 2, б (220) — 1, (440) — 2

Сравнение результатов для совершенных и мозаичных кристаллов дает возможность предположить, что более резкое падение упругой компоненты интенсивности в совершенном кристалле при одной и той же амплитуде УЗ на поверхности образцов, по-видимому, свидетельствует о важной роли многократного когерентного неупругого рассеяния в совершенном кремнии [5]. В заключение авторы выражают искреннюю благодарность А. М. Афанасьеву и М. А. Чуеву за обработку мёссбауэровских спектров.

ЛИТЕРАТУРА

- Gavrilov V. N., Zolotoyabko E. V., Iolin E. M. // J. Phys. C: Solid St. Phys. 1988. 21, N 2. P. 471.
- Gavrilov V. H., Zolotoyabko E. V., Iolin E. M. // Hyperfine Interactions. 1990. 58. P. 2427.
- Асцур К. П., Энтин И. Р. // ФТТ. 1982. 24. С. 2122.
- Mkrтчян А. Р., Arutyunyan G. A., Arakelyan A. R., Gabrielyan R. G. // Phys. Stat. Solidi (b). 1979. 92, N 1. P. 23.
- Afanas'ev A. M., Kagan Yu., Chukhovskii F. N. // Phys. Stat. Solidi. 1968. 28, N 1. P. 287.

Поступила в редакцию 03.07.95