

[8] Зотова Н.В., Есина Н.П., Матвеев Б.А.,
Неуymiна Л.Д., Стусь Н.М., Талала-
жи Т.Н. Авт. свид. № 1056315. Оpubл. БИ № 43, 1983.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
11 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
4 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4 26 февраля 1990 г.

07
© 1990

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРАСТА НА МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

В.В. Аристов, А.А. Снигирев,
А.Ю. Суворов

В последнее время в ряде работ были представлены экспери-
ментальные результаты по наблюдению дифракционных спектров
волн, отраженных от периодической монокристаллической структу-
ры, с помощью трехкристалльного дифрактометра [1-2]. Был обна-
ружен достаточно высокий контраст дифракционной картины, а так-
же зарегистрированы так называемые „толщинные осцилляции“
главного пика. С кинематической точки зрения проведена интер-
претация наблюдаемых эффектов. Профилирование поверхности мо-
нокристаллов Si с успехом было использовано для создания Брегг-
Френелевских зонных пластин, на которых наблюдалась фокусиров-
ка и передача изображения периодической металлической сетки в
диапазоне жесткого рентгеновского излучения [3-4]. Вследствие
этого возникла необходимость более тщательного изучения дифрак-
ции на профилированной кристаллической поверхности, особенно в
теоретическом аспекте.

Структура в виде рельефа характерна тем, что в ней сочетают-
ся все типы дифракции. При этом на некоторых ее участках воз-
никают случаи суперпозиции волновых полей, соответствующих раз-
личным схемам дифракции, что должно привести к интерференции.
Таким образом, субмикронная структура, в которой наряду с ди-
фракцией осуществляется интерференционное взаимодействие ди-
фрагировавших волн, может быть названа микроинтерферометром.
При этом интерес представляют два варианта: первый - когда пе-
риод профиля поверхности $D < L_e$, второй - $D > L_e$, где $L_e =$
$$= \frac{\lambda \cos \theta_B}{C \chi_n}$$
 - длина экстинкции,

В данной работе рассматриваются процессы формирования топо-
графического контраста на микроинтерферометре с профилем в виде
прямоугольных выступов и периодом $D > L_e$.

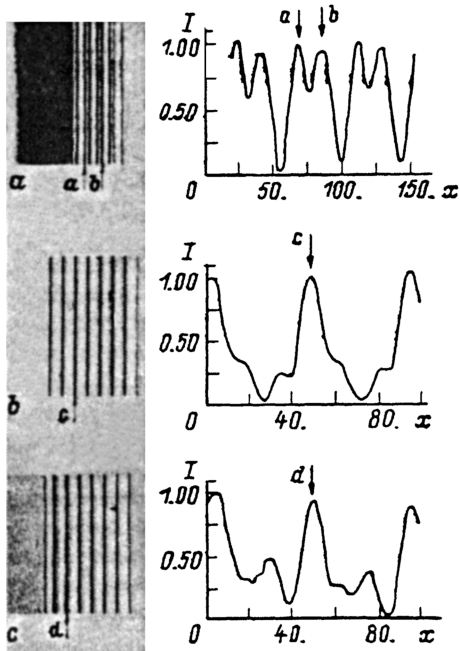


Рис. 1. Экспериментальные топограммы и их денситограммы, полученные при дифракции на периодической структуре с $D=60$ мкм: а - $\alpha=0''$, в - $\alpha=-3''$, с - $\alpha=+3''$.

Для проведения эксперимента использовалась параллельная (+, -) двухкристалльная схема с асимметричным Брэгговским монокроматором (511) на $\text{CuK}\alpha$ излучении. На бездислокационной монокристаллической пластине Si с ориентацией поверхности традиционными методами оптической литографии и последующего реактивного ионно-плазменного травления был создан рельеф с периодом $D=60$ мкм и высотой $H \approx 10$ мкм. Для образца использовалось симметричное Брэгговское отражение (333). Профиль данного типа можно разделить на две совокупности взаимно перпендикулярных поверхностей, через которые падающее излучение входит и выходит из кристалла: боковые поверхности выступов - симметричная Лауэ дифракция и смешанный случай, подложка и горизонтальная поверхность выступов - симметричная Брэгговская дифракция и смешанный случай. Из-за наличия преломления кривые качания симметричных рефлексов в случае Лауэ и Брэгга сдвинуты друг относительно друга на угловую величину $\Delta\theta_{B-L} = \frac{\chi_{or}}{\sin 2\theta_B}$. Для выбранного отражения эта величина составляет $\Delta\theta_{B-L} = 3''$, что существенно больше ширины кривой качания $\Delta\theta_B = 2''$. Таким образом, для достаточно высокой структуры ($H \gg \Lambda_0$, где $\Lambda_0 = \frac{\lambda \sin \theta_B}{c \pi \chi_h}$).

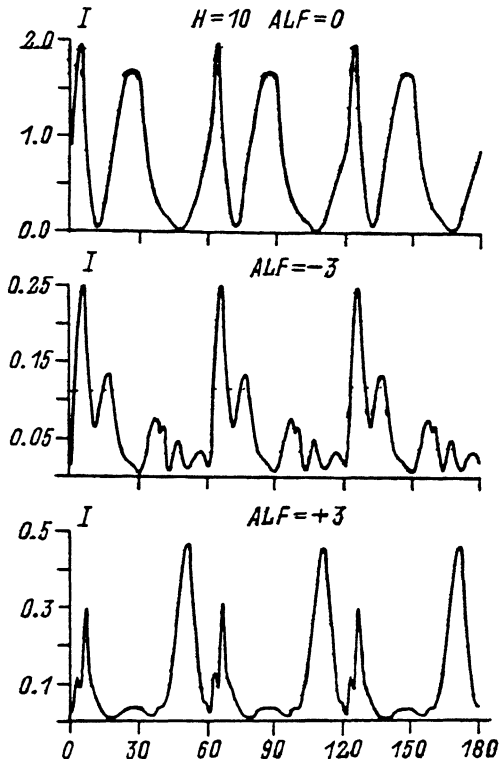


Рис. 2. Расчетное распределение интенсивности вдоль поверхности, параллельной отражающим плоскостям, для периодического рельефа с $H=10$ мкм и $D=60$ мкм: а - $\alpha=0^\circ$, в - $\alpha=-3^\circ$, с - $\alpha=+3^\circ$.

глубина экстинкции по Брэггу) изображение микроинтерферометра в определенных угловых положениях кристалла будет определяться либо Лауэ-дифракцией, либо Брэгг-дифракцией.

На рис. 1 представлены топограммы, снятые в трех точках брэгговской кривой качания, причем левая половина рефлекса соответствует отражению от идеальной кристаллической подложки. В точном брэгговском положении интерференционная картина формируется в основном Брэгг-дифракцией на поверхностях подложки и выступа. Для большого периода $D > L_p$ существуют участки поверхности, где интенсивность дифрагированной волны почти соответствует чисто брэгговской дифракции, например, полосы типа δ . Полосы типа α формируются путем сложения волны, отраженной от подложки и прошедшей через боковую грань выступа, с волной, дифрагировавшей от поверхности выступа. Отклоняя кристалл от

точного угла Брэгга, мы либо усиливаем дифракцию Лауэ через боковые поверхности по сравнению с Брэгг-дифракцией, либо делаем их одного порядка. Тогда изображение будет обусловлено в равной степени всеми типами дифракции. На рис. 1 (в, с) представлены топограммы, снятые с отклонением на угол $\alpha = -3''$ - усиление дифракции Лауэ, $\alpha = +3''$ - выравнивание Брэгг и Лауэ дифракций. Интерференционный характер картин отчетливо проявляется в высоком контрасте полос типа с и \angle по сравнению с интенсивностью, отраженной от совершенной части кристалла. При этом участки, на которых наблюдается повышение интенсивности, локализованы в области, по размерам составляющей величину порядка проекции боковой грани рельефа в плоскости регистрации.

Для теоретического анализа дифракции на профилированной поверхности кристалла был выбран метод численного расчета изображения с помощью функций влияния [5]. На рис. 2 приведены расчетные кривые распределения интенсивности дифрагированного излучения вдоль горизонтальной поверхности кристалла в приближении плоской падающей волны. Полученные расчетные изображения достаточно хорошо согласуются с экспериментальными топограммами и качественно совпадают с высказанными ранее предложениями о формировании топографического контраста.

В заключение хотелось бы сказать, что изучение формирования дифракционных изображений сложных профилированных кристаллов способствует созданию высокоразрешающей многофункциональной оптики для жесткого рентгеновского излучения. В перспективе, помимо рассмотренного Брэгг-Лауэ микроинтерферометра, особый интерес представляют структуры типа многоблочных Лауэ-Брэгг микроинтерферометров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Aristov V.V., Nikulin A.Yu., Snigirev A.A., Zaumseil P. // Phys. Stat. Sol.(a). 1986. V. 95. P. 81-86.
- [2] Aristov V.V., Winter U., Nikulin A.Yu., Redkin S.V., Snigirev A.A., Zaumseil P., Yunkin V.A. // Phys. Stat. Sol. (a). 1988. V. 108. P. 651-655.
- [3] Аристов В.В., Басов Ю.А., Снигирев А.А. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. С. 114-118.
- [4] Аристов В.В., Басов Ю.А., Кулипанов Г.Н., Пиндюрин В.Ф., Снигирев А.А., Соколов А.С. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. С. 3-6.
- [5] Afanasiev A.M., Kohn V.G. // Acta Cryst. 1971. V. A27. P. 421-430.