

5. Ветохин С. С., Резников И. В.—Оптико-механическая промышленность, 1980, № 8, с. 46.

6. Александров И. Р., Дунаевская Н. В., Иванов О. И., Карнаух И. М., Остапенко А. А., Пельтек С. М., Стучинский Г. Б.—Приборы и техника эксперимента, 1977, № 2, с. 176.

Поступила в редакцию 25.12.84.

УДК 548.74

Ф. Ф. КОМАРОВ, В. В. КОРНЕЙЧИК, В. С. ТИШКОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИФРАКЦИИ В СХОДЯЩЕМСЯ ПУЧКЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА ТОНКИХ СЛОЕВ АМОРФНОГО ВЕЩЕСТВА

На серийных электронографах в режиме коллимированного пучка дифрактограммы получают с площадями  $\sim 0,03$ — $0,05$  мм<sup>2</sup>, что приводит к наложению дифракционных картин от отдельных структурных фрагментов с линейными размерами менее 200 мкм.

Для получения дифрактограмм с участков меньшей площади можно воспользоваться методом дифракции в сходящемся пучке. В этом случае электронный пучок конечной апертуры фокусируют на образце. Если пучок ограничен круглой апертурой, то в случае монокристаллического образца каждое пятно дифракционной картины расширяется в круглый диск. При этом изменение интенсивности в пределах центрального пятна и дисков дифракционных пятен в дифракционной картине будет соответствовать изменению интенсивности в зависимости от угла падения пучка.

Применение метода сходящегося пучка оказалось полезным также при анализе структуры ближнего порядка тонких слоев аморфных материалов, в частности, полученных имплантацией ионов средних энергий в монокристаллические и поликристаллические подложки. Подготовка таких образцов для получения дифрактограмм «на просвет» производится, как правило, посредством травления (электролитического, химического, динамического) с обратной стороны до образования сквозного отверстия, окаймленного клином вещества имплантированного слоя шириной 5—10 мкм (рис. 1).

При работе в коллимированном пучке на дифрактограмме с такого клина наблюдаются наряду с диффузными кольцами от аморфного слоя рефлексы от матрицы (см. рис. 1, а), усложняющие дифракционную картину.

В случае сходящегося пучка можно получить дифрактограммы с отдельных участков этого клина (см. рис. 1, б). Однако при этом происходит искажение угловой зависимости рассеянных электронов: размытие диффузных колец и расширение центрального пятна в диск диаметром  $D$ , представляющий собой проекцию апертурной диафрагмы на экран.

В режиме сходящегося пучка интенсивность рассеянных электронов, в предположении прямоугольной функции источника, описывается интегралом:

$$I^*(s) = \frac{1}{D} \int_{s-D/2}^{s+D/2} I(s) ds, \quad (1)$$

где  $I(s)$  — интенсивность рассеянных электронов в случае коллимированного пучка.

Поскольку производная от интеграла по переменному верхнему пределу равна значению функции на этом пределе, то, дифференцируя (1) по  $s$ , получим:

$$\frac{d}{ds} I^*(s) = \frac{1}{D} \{I(s + D/2) - I(s - D/2)\}. \quad (2)$$

Воспользовавшись тем, что при  $s \rightarrow \infty$ ,  $I(s) \rightarrow I^*(s) \rightarrow f^2(s)$ , где  $f(s)$  — атомный фактор, положим на конце интервала по  $s$  для  $s \in (s_{\max} - D$ ,

$s_{\max}$ )  $I(s) = I^*(s)$ , тогда остальные значения  $I(s)$  для  $s \in (s_{\min}, s_{\max} - D)$  вычисляются по формуле

$$I(s - D/2) = I(s + D/2) - D \frac{d}{ds} I^*(s). \quad (3)$$

Восстановленная кривая угловой зависимости интенсивности рассеянных электронов  $I(s)$  может быть использована для анализа структурного фактора [2]:

$$a(s) = I(s)/f^2(s), \quad (4)$$

а также для вычисления функции радиального распределения атомной плотности (ФРРАП):

$$4\pi r^2 \rho(r) = 4\pi r^2 \rho_0 + \frac{2r}{\pi} \int_0^\infty s(a(s) - I) \sin sr ds, \quad (5)$$

где  $\rho_0$  — средняя атомная плотность.

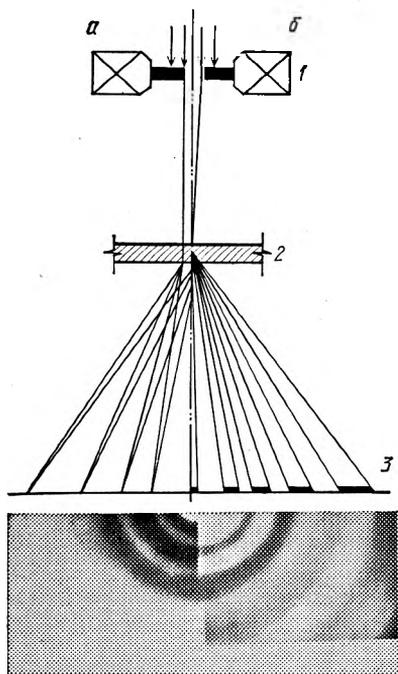


Рис. 1. Геометрия дифракции на клине структуры аморфный кремний — монокристалл кремния в случаях коллимированного (а) и сходящегося пучков (б)

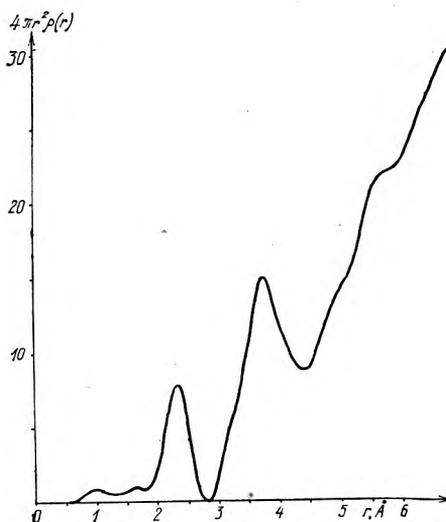


Рис. 2. Функция радиального распределения атомной плотности для аморфного кремния (дифрактограмма снята в режиме сходящегося пучка)

На рис. 2 приведен график ФРРАП рассчитанной по формуле (5) для полученной в режиме сходящегося пучка интерференционной функции от тонкой пленки кремния, аморфизованного имплантацией ионов азота с энергией 40 кэВ дозой  $5 \cdot 10^{16}$  ион /  $\text{см}^2$  при комнатной температуре.

Найденные из графика параметры структуры ближнего порядка для первых двух координационных сфер:  $r_1 = 2,35 \text{ \AA}$ ,  $Q_1 = 3,99$  и  $r_2 = 3,77 \text{ \AA}$ ,  $Q_2 = 13,10$  свидетельствуют о сохранении в аморфном кремнии структуры ближнего порядка, характерной для кристалла.

### Список литературы

1. Каули Дж. Физика дифракции.— М., 1979.
2. Скрышевский А. Ф. Структурный анализ жидкостей и аморфных тел.— М., 1980.

Поступила в редакцию 21.01.85.