

07

Новые перспективы развития рентгеновской коротковолновой голографии

© А.М. Егиазарян

Институт прикладных проблем физики НАН Республики Армения, Ереван

Поступило в Редакцию 20 октября 1997 г.

Содержится оригинальное предложение использовать некоторое подобие интерферометра Мах-Цендера для регистрации голограмм в рентгеновском диапазоне спектра.

Осуществление рентгеновской коротковолновой голографии имеет очень важное значение для развития микроскопии, а также для визуализации внутренней микроструктуры непрозрачных для оптического излучения веществ. Поэтому рентгеновская коротковолновая голография представляет определенный интерес наряду с электронной микроскопией и оптической голографией. Метод откроет новые перспективы перед рентгеновской дефектоскопией, голографией микрообъектов и рентгеновской когерентной оптикой.

Несомненно, осуществление рентгеновской голографии связано с преодолением определенных трудностей. Отсутствуют интенсивные источники когерентного рентгеновского излучения. Однако оценки когерентной плотности интенсивностей излучения существующих рентгеновских источников [1–2] показывают, что в рентгеновской голографии реально достижение разрешения порядка $1 \mu\text{m}$. Развитие рентгеновской интерферометрии, создание рентгеновских кристаллических монокроматоров как своеобразных источников когерентного рентгеновского излучения привело нас к идее о возможности использования дифракционно-коллимированных в кристаллических монокроматорах рентгеновских пучков для рентгеновской коротковолновой голографии интерферометрическим способом [3,4]. Сопоставляя задачу записи рентгеновских интерференционных картин с задачей записи голограмм, можно заметить, что при определенных ограничениях эти картины можно рассматривать как голограммы и осуществлять восстановление

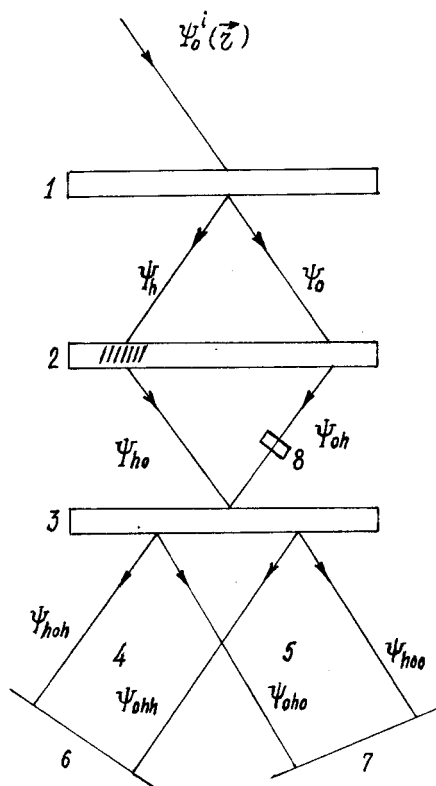


Рис. 1. Интерферометрическая схема записи рентгеновских коротковолновых голограмм.

предметного изображения в видимом свете. Допустим, рентгеновская монохроматическая волна с амплитудой $\psi_0^i(\mathbf{r})$ падает на трехблочный интерферометр, вырезанный из монолитного совершенного кристалла под углом отражения (рис. 1). Если первый блок достаточно толстый ($\mu t_1 \gg 1$, где t_1 — толщина первого блока, μ — линейный коэффициент поглощения кристалла), то в результате дифракции в нем первичной падающей волны образуются $\psi_h(\mathbf{r})$ и $\psi_0(\mathbf{r})$ почти одинаковые волны, распространяющиеся в направлениях отражения и прохождения

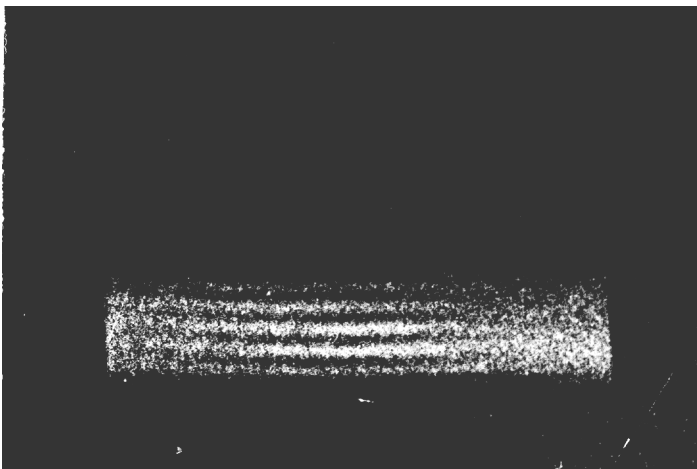


Рис. 2. Интерференционная картина трехблочного интерферометра с идеальной геометрией.

соответственно [5,6]. В результате дифракции этих волн в блоках 2 и 3 образуются интересующие нас волны с амплитудами ψ_{ho} и ψ_{oh} , которые сходятся на входной поверхности блока 3. В результате дифракции и интерференции в блоке 3 из него выходят пучки 4 и 5. В направлении пучка 4 распространяются ψ_{hoh} и ψ_{ohh} , а в направлении пучка 5 распространяются ψ_{oho} и ψ_{hho} , которые интерферируют в пространственных областях их наложения. Оценим размеры угловой области α тех Фурье-компонент волны $\psi_0^i(\mathbf{r})$, которые, проходя через блок 1 и вакуумный слой с той же толщиной t_1 , тождественны в смысле приобретения дополнительной фазы:

$$\frac{kt_1(1-n)}{\cos(\theta_B + \alpha)} - \frac{kt_1(1-n)}{\cos \theta_B} < \frac{\pi}{10}, \quad (1)$$

где n — показатель преломления кристалла, θ_B — угол Брэгга.

Когда $t_1 \sim 10^{-1}$ см, $k \sim 10^8$ см $^{-1}$, $1 - n \sim 10^{-5}$ из условия (1) следует, что $\alpha \sim 10^{-3}$ рад. Так как угловая область пропускания кристалла того же порядка, следовательно при идеальной геометрии интерферометра фазовые поверхности $\psi_0^i(\mathbf{r})$, ψ_h и ψ_0 подобны. Экс-

периментальные результаты (рис. 2) показывают, что при идеальной геометрии интерферометра интерференционные картины представляют равноудаленные полосы и получаются при интерференции двух плоских квазимонохроматических волн ψ_{hoh} и ψ_{ohh} или ψ_{oho} и ψ_{hoo} .

В данном случае волну ψ_{ohh} можно рассматривать как опорную, а волну ψ_{hoh} как предметную. Следовательно, эти интерференционные картины представляют простейшие рентгеновские голограммы. Однако угол между направлениями распространения волн ψ_{hoh} и ψ_{ohh} очень маленький, поэтому расстояние между интерференционными полосами намного больше, чем длина волны видимого света (рис. 2). Поэтому из этой голограммы невозможно восстановить предметную волну ψ_{hoh} светом оптического лазера. Чтобы уменьшить расстояние между интерференционными полосами до порядка длины волны видимого света, необходимо по возможности увеличить угол между направлениями распространения ψ_{hoh} и ψ_{ohh} . Это возможно сделать расположением соответствующей однородной призмы на пути опорной волны ψ_{oh} , которая не выводит эту волну из положения отражения (см. 8 на рис. 1). Угол отклонения $\Delta\alpha$ волны ψ_{oh} при нормальном падении на входную грань призмы определяется формулой

$$\Delta\alpha \sim (1 - n) \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где α — угол призмы, n — показатель преломления призмы.

Угловая область пропускания кристалла порядка десяти угловых секунд, следовательно, угол между направлениями волн ψ_{hoh} и ψ_{ohh} можно увеличить до этого предела согласно (2). Следовательно, расстояние между интерференционными полосами возможно уменьшить до длины волны видимого света, что позволит восстанавливать предметную волну ψ_{hoh} излучением оптического лазера. В левое плечо блока 2 (в области дифракции волны ψ_h) можно внести любые структурные нарушения, не выводящие волну ψ_h из положения отражения (заштрихованная область на рис. 1). Тогда образуется соответственная предметная волна ψ_{hoh} , фазовая поверхность которой подобна фазовой поверхности волны ψ_{ho} согласно формуле (1). Восстанавливая волну ψ_{hoh} излучением оптического лазера, мы получим видимое, увеличенное изображение неоднородностей заштрихованной части кристалла.

Автор приносит свою благодарность канд. физ.-мат. наук Ф.О. Эйрамджяну за предоставленный экспериментальный результат и за ценные обсуждения.

Список литературы

- [1] *Аристов В.В., Башкина Г.А.* // Материалы Всесоюзного межвузовского совещания по многоволновому рассеянию рентгеновских лучей. Изв. ЕГУ, 1978. С. 123.
- [2] *Muller R.K., Jorna S.* // *Appl. Opt.* 1977. V. 16. N 3. P. 525.
- [3] *Егиазарян А.М., Ростомян А.Г., Безирганян П.А.* // Докл. АН Арм. ССР. 1978. Т. 66. № 4. С. 228.
- [4] *Егиазарян А.М., Безирганян П.А.* // Изв. АН Арм. ССР. Физика. 1980. Т. 15.
- [5] *Afanesiev A.M., Kagan Yu.* // *Acta Cryst.* 1968. V. A24. P. 163.
- [6] *Инденбом В.Л., Чуховский Ф.Н.* // УФН. 1972. Т. 107. С. 229.