

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ЗАПИСИ
X-ГОЛОГРАММА. М. ЕГИАЗАРЯН, А. Г. РОСТОМЯН, А. М. ГРИГОРЯН,
П. А. БЕЗИРГАНЯН

Обсуждаются условия записи голограмм микрообъектов монохроматизированным рентгеновским излучением, выходящим из рентгеновского резонатора. Исследована зависимость контраста голограммы от параметров излучения и геометрии записи.

Применение рентгеновского излучения для записи голограмм микрообъектов открывает новые перспективы для развития голографической микроскопии, так как коэффициент линейного увеличения восстановленного изображения имеет вид

$$\mu = \lambda_1 Z_2 / \lambda_0 Z_1, \quad (1)$$

где λ_0 — длина волны излучения, применяемого для записи, λ_1 — длина волны излучения, восстанавливающего изображение, Z_1 и Z_2 — соответственно расстояния от голограммы до объекта и изображения.

Рядом авторов [1—4] выполнены теоретические и экспериментальные исследования, в которых предлагаются методы преодоления специфических трудностей, возникающих при уменьшении λ_0 . Но основные проблемы, а именно: а) отсутствие источников с достаточной временной и пространственной когерентностью, б) наличие aberrаций волнового фронта при голографическом изменении масштаба изображения, в) отсутствие источников с достаточной мощностью, еще не преодолены.

Создание рентгеновских резонаторов [5] дает возможность их использования для осуществления записи голограмм в коротковолновом диапазоне рентгеновского излучения.

Проведенные теоретические исследования [6, 7] показали, что пространственная и временная когерентности излучения резонатора достаточны для его применения в голографической микроскопии. В работе [6] предложена схема записи голограмм микрообъектов и получено выражение для контрастности голограмм. При получении по предложенной схеме голограмм с достаточной контрастностью возникают проблемы, связанные с выбором параметров излучения и геометрии записи.

В настоящей работе проводится исследование оптимальных параметров излучения и геометрии записи для получения по предложенной схеме голограмм с достаточной контрастностью.

Рентгеновский резонатор обеспечивает цикличность траектории и выход излучения из него [5]. После каждого отражения интегральная интенсивность излучения

$$J = \int_{\Delta\lambda} I_{\lambda} d\lambda \quad (2)$$

уменьшается из-за спектрального сужения излучения, в то время как спектральная интенсивность резонансной длины волны λ_0 (значение квадрата модуля фурье-образа волнового поля для длины волны λ_0) уменьшается незначительно:

$$I_{\lambda_0}^N = I_{\lambda_0}^0 (\Gamma_{\lambda_0})^{4N}, \quad (3)$$

где $I_{\lambda_0}^N$ — спектральная интенсивность после N циклов, $I_{\lambda_0}^0$ — спектральная интенсивность входящего в резонатор излучения, Γ_{λ_0} — коэффициент отражения, близкий к единице для резонансной длины волны [8]. С увеличением числа циклов N уменьшается расходимость излучения ($\Delta\alpha$) и, тем самым, увеличивается его пространственная когерентность, но, с другой стороны, это приводит к падению спектральной интенсивности I_{λ_0} . Оптимальным выбором числа циклов N можно обеспечить достаточную пространственную когерентность излучения резонансной волны λ_0 , фигурирующей в формуле (1), без значительной потери в спектральной интенсивности.

На рис. 1 приведена схема записи голограмм. Излучение резонатора падает на объект цилиндрической формы, проходя общее расстояние R от анода до объекта, включая путь в резонаторе. Часть излучения, проходя-



Рис. 1. Схема записи голограммы микрообъекта в плоскости дисперсии резонатора.

щая мимо объекта, представляет собой пространственно-однородную опорную волну. Остальная часть излучения или поглощается, или же зеркально отражается, неся в себе информацию о структуре отражающей поверхности. На расстоянии Z_1 от объекта перпендикулярно к оси симметрии излучения ставится фотоэмульсионная пластинка, на которую записывается голограмма.

Вычисления показывают, что область интерференции опорной и предметной волн в случае размера микрообъекта $\rho \sim 10^{-4} Z_1$ определяется выражением

$$D = 4 (Z_1 \Delta l)^{1/2}, \quad (4)$$

где Δl — длина когерентности излучения.

Для германиевого резонатора в области резонансной длины волны $\text{CoK}\alpha_1$ и с симметричными отражениями (220) и (440) длина когерентности $\Delta l = 30$ мкм, так что при $Z_1 = 10^6$ мкм имеем $D = 10^4$ мкм.

В этой области образуются интерференционные максимумы, среднее расстояние между которыми определяется из условия $\Delta \sim 2\lambda_0/\Delta\alpha$. Если $N = 1$, то $\Delta\alpha = 10''$, и в рассматриваемом случае получаем $\Delta = 7,45$ мкм, так что проблема разрешающей способности регистрирующей среды отпадает (для ядерных фотопластинок она составляет 300 л/мм). Размер интерференционной картины с высокой контрастностью уменьшается из-за недостаточной пространственной когерентности. Голограмма, записанная по предложенной схеме, описывается функцией контрастности [6]

$$S(y) = [c(\pi t_1/2) - c(\pi t_2/2)]^2 + [s(\pi t_1/2) - s(\pi t_2/2)]^2]^{1/2} / 2\Delta\alpha \sqrt{R/\lambda_0}, \quad (5)$$

где

$$c(\pi t/2) = \int_0^t \cos(\pi p^2/2) dp, \quad s(\pi t/2) = \int_0^t \sin(\pi p^2/2) dp,$$

$$t_1 = \sqrt{1/R\lambda_0} (2y - 2\rho + \Delta\alpha R), \quad t_2 = \sqrt{1/R\lambda_0} (2y - 2\rho - \Delta\alpha R).$$

Из выражения (5) видно, что $S(y)$ зависит от параметров $Z_1 = R$, ρ , λ_0 , $\Delta\alpha$ и Δl . Расчет этой зависимости при разных комбинациях вышеуказанных параметров проводился на портативной ЭВМ Hewlett—Packard-25. Кривые зависимости $S(y)$ от $\lg(y - \rho + 1)$ приведены на рис. 2.

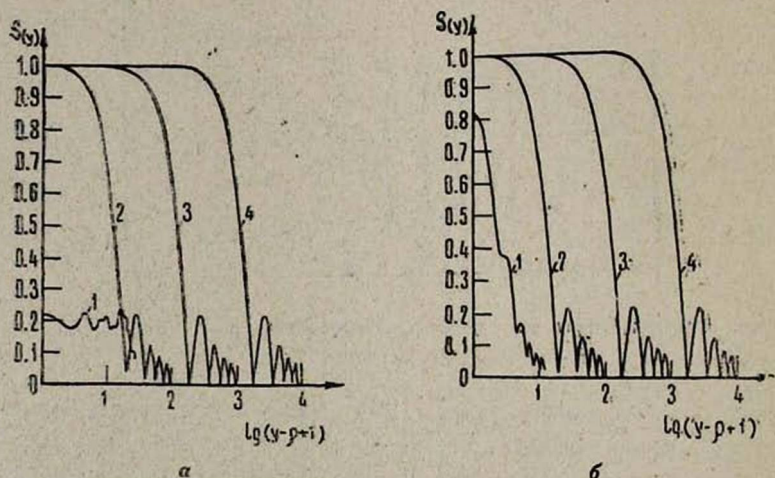


Рис. 2. Кривые зависимости контрастности голограммы от $\lg(y - \rho + 1)$ при различных значениях R и $\Delta\alpha$: а) $R = 10^6$ мкм; б) $R = 10^5$ мкм; 1) $\Delta\alpha = 10''$; 2) $\Delta\alpha = 1''$; 3) $\Delta\alpha = 0,1''$; 4) $\Delta\alpha = 0,01''$.

Из приведенных кривых следует, что при записи голограмм микрообъектов по предложенной схеме:

1) изменение параметра R в допустимых пределах (см. [6]) не приводит к значительному изменению кривых, отличие значительно только в случае $\Delta\alpha = 10''$;

2) с увеличением размера микрообъекта кривая зависимости контрастности перемещается по координатной оси без изменения, т. е. увели-

чение поверхности, с которой записывается информация, не ухудшает контрастность;

3) размеры пространственной области, в которую можно записать голограммы с высокой контрастностью, обратно пропорциональны угловым размерам излучения;

4) при $\Delta\alpha = 10''$, т. е. при $N = 1$ (кривая 1, рис. 2а) можно экспериментально осуществить запись голограмм с достаточной контрастностью.

Ереванский государственный
университет

Поступила 19.VI.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Aoki, S. Kikuta. Japan J. Appl. Phys., 13, 1385 (1974).
2. В. В. Аристов, Г. А. Башкина. Материалы Всесоюзного межвузовского совещания по многоволновому рассеянию рентгеновских лучей, Изд. ЕрГУ, 1978, стр. 123.
3. А. М. Кондратенко, А. Н. Скринский. Оптика и спектроскопия, 42, 338 (1977).
4. J. W. Giles. J. Opt. Soc. of Amer., 59, 1179 (1969).
5. А. Г. Ростомян, П. А. Безиргян. ДАН АрмССР, 64, 228 (1977).
6. А. М. Егiazарян, А. Г. Ростомян, П. А. Безиргян. Материалы Всесоюзного межвузовского совещания по многоволновому рассеянию рентгеновских лучей, Изд. ЕрГУ, 1978, стр. 104.
7. А. М. Егiazарян, А. Г. Ростомян, П. А. Безиргян. Материалы Всесоюзного межвузовского совещания по многоволновому рассеянию рентгеновских лучей, Изд. ЕрГУ, 1978, стр. 109.
8. М. А. Блохин. Физика рентгеновских лучей, ГИТТЛ, М., 1957.

X-ՀԱՆՈՒԳՐԱՄԱՆԵՐԻ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ա. Մ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ա. Հ. ՌՈՍՏՈՄՅԱՆ, Ա. Մ. ԳՐԻԳՐՅԱՆ, Պ. Ա. ԲԵԶԻՐԳՅԱՆ

Քննարկված է ռենտգենյան ճառագայթների ռեզոնատորից դուրս եկած ճառագայթումով միկրոբյուրեղների հոլոգրամների գրանցման օպտիմալ պայմանները: Հետազոտված է հոլոգրամի կոնտրաստի կախումը ճառագայթման պարամետրերից և գրանցման երկրաչափությունից:

THE STUDY OF OPTIMAL CONDITIONS OF X-HOLOGRAMS RECORDING

A. M. EGIAZARYAN, A. G. ROSTOMYAN, A. M. GRIGORVAN,
P. A. BEZIRGANYAN

Conditions for the recording of microobjects holograms by means of monochromatized radiation emerging from X-ray resonator are discussed. The dependence of holograms contrast on the radiation and recording geometry parameters is studied.