

в качестве фазовочувствительных элементов для систем стабилизации голографических установок.

Л и т е р а т у р а

- [1] N e u m a n n D.B., R o s e H.W. Appl. Opt. 1967. V. 6. N 6. P. 1097.
- [2] J o h a n s o n S. et al. In Proc. Conference on Applications of Holography. New York: Pergamon Press, 1976. P. 521.
- [3] M a c Q u i g g D.R. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 2. P. 291-292.
- [4] K a m s h i l i n A.A., F r e j l i s h T., C e s c a t o L. // Appl. Opt. 1986. V. 25. N 14. P. 2376-2381.

Поступило в Редакцию
2 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1
07; 12

12 января 1989 г.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ МНОГОСЛОЙНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СТРУКТУР

Ю.А. А л е к с а н д р о в, А.В. В и н о г р а д о в,
Н.Н. З о р е в, И.В. К о ж е в н и к о в,
В.В. К о н д р а т е н к о, М.О. К о ш е в о й,
В.А. М у р а ш о в а, Ю.П. П е р ш и н,
А.А. Р у п а с о в, А.И. Ф е д о р е н к о,
А.С. Ш и к а н о в, М.Н. Я к и м е н к о

Появившиеся в последнее десятилетие зеркала нормального падения на основе многослойных интерференционных структур (МИС) значительно расширили возможности физических исследований в диапазоне мягкого рентгеновского (МР) излучения ($\lambda \sim 10-300 \text{ \AA}$). Наиболее характерными особенностями многослойной рентгеновской оптики являются: малые углы падения МР излучения на поверхность зеркала вплоть до нормального и спектральная селективность МИС, обусловленная интерференционным характером отражения. Наряду с этими свойствами МИС, значительный интерес для практики представляет и возможность применения их в качестве эффективных поляризаторов МР диапазона, т.е. их использование либо для получения поляризованного МР пучка, либо для исследования поляризации МР излучения от лабораторных и космических плазменных объектов [1, 2].

Поляризация МР излучения при отражении от МИС обусловлена, главным образом, тем обстоятельством, что значения коэффициентов

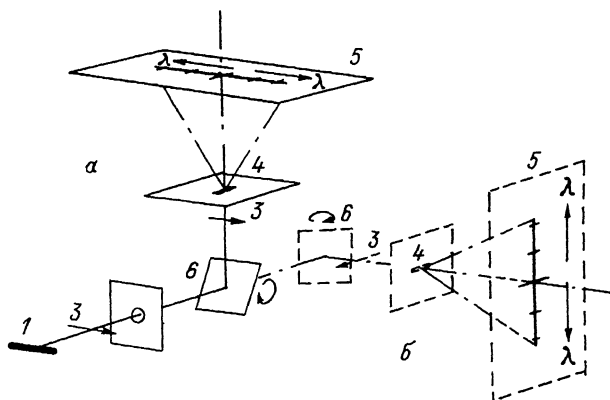


Рис. 1. Схема эксперимента. а - случай s -падения, б - случай p -падения. 1 - эффективный источник СИ, 2 - диафрагма, 3 - направление поляризации СИ, 4 - пропускающая дифракционная решетка, 5 - плоскость регистрации, 6 - многослойное зеркало.

отражения в максимуме $R_0^{s,p}$ различны для s и p -поляризованных компонент при наклонном падении. В частности, если угол падения пучка на МИС составляет $\varphi = 45^\circ$, то коэффициент отражения p -поляризованного излучения практически равен нулю. Коэффициент же отражения s -поляризованной компоненты может быть значительным (десятки процентов), если период МИС в соответствии с условием Брэгга будет равен $l = \lambda/\sqrt{2}$. Тем самым, степень поляризации отраженного пучка в этом случае максимальна:

$$P = \frac{R_0^s - R_0^p}{R_0^s + R_0^p} \approx 1, \text{ при } \varphi \approx 45^\circ \text{ и } l \approx \lambda/\sqrt{2}.$$

Этот факт является следствием закона Брюстера. Действительно, в МР диапазоне диэлектрическая проницаемость любого вещества близка к единице: $|1 - \epsilon| \ll 1$. Это и означает, что при отражении от одной поверхности угол полной поляризации (или угол Брюстера) как раз равен $\varphi_0 = \arctg \sqrt{\epsilon} \approx 45^\circ$.

Степень поляризации остается высокой и при отражении немонахроматического излучения. При этом следует иметь в виду, что коэффициент отражения для s -поляризованного излучения будет значительным лишь в узком интервале длин волн вблизи резонансного значения $\lambda \approx l\sqrt{2}$. В случае же p -поляризованного излучения коэффициент отражения будет крайне мал сразу для всех спектральных компонент.

В данной работе изучались поляризационные свойства многослойных интерференционных зеркал для углов падения излучения на отражающую поверхность в интервале $\varphi \sim (45 \pm 6)^\circ$. Для этого проводилось измерение коэффициента отражения от плоского многослойного зеркала в широком диапазоне длин волн (10–300 Å) при указанных

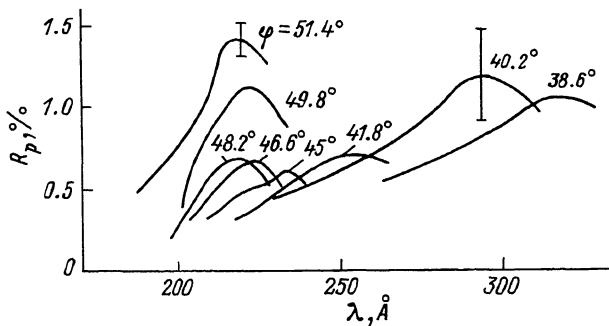


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения ρ -поляризованного излучения от длины волны при различных углах падения.

углах падения излучения и при различных ориентациях плоскополяризованного пучка относительно поверхности МИС. Использовалось зеркало, состоящее из слоев $Mo-Si$ с периодом 155 \AA и числом периодов 10, синтезированное на стеклянной подложке методом магнетронного распыления. Эксперименты проводились на синхротроне С-60 (ФИАН). Удобство синхротрона для целей калибровки связано с хорошей повторяемостью параметров синхротронного излучения (СИ) от выстрела к выстрелу, известной формой спектра, высокой направленностью пучка, а также с линейной поляризацией СИ. Схема эксперимента показана на рис. 1. Пучок СИ падал на исследуемое зеркало под углом, близким к 45° , а в апертуру отраженного пучка помещалась пропускающая дифракционная решетка из золота с периодом 1 мкм , шириной 100 мкм [3]. Решетка разлагала отраженное от зеркала излучение в спектр (обратная линейная дисперсия $\sim 47 \text{ \AA/мм}$), который регистрировался рентгеновской фотоэмульсией. Конструкция поворотного узла обеспечивала прохождение одной и той же части пучка СИ через апертуру дифракционной решетки при различных углах падения пучка на многослойное зеркало и позволяла также разделить зарегистрированные на пленке спектры, полученные при зеркальном отражении СИ при различных углах падения. Поворотом всей конструкции на 90° относительно оси синхротронного пучка (см. рис. 1) были реализованы два случая ориентации плоскости поляризации пучка относительно плоскости падения (СИ поляризовано горизонтально).

С учетом характеристических кривых рентгеновской пленки, определялась функция зависимости коэффициента отражения многослойного зеркала от длины волны для различных углов падения при изменении наклона зеркала в схеме рис. 1.¹ Для определения абсолютного

¹Характеристические кривые строились для различных длин волн в пределах исследуемого спектрального диапазона по денситограммам СИ, полученным с помощью пропускающей решетки при различных дозах облучения рентгеновской фотоэмульсии (в отсутствие зеркала).

значения коэффициента отражения зеркала использовались опорные спектрограммы, зарегистрированные с помощью той же решетки в отсутствие отражающего образца также для различных поляриза-ций.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости коэффициента отражения $R^p(\lambda)$ p -поляризованного излучения от длины волны λ при изменении угла падения от 39° до 51° . Видно, что максимум отражения смещается от 220 до 300 Å, причем значения пикового коэффициента отражения R_o^p минимальны при $\varphi \approx 45^\circ$. В то же время пиковые коэффициенты R_o^s для s -поляризованного излучения практически не зависели от угла падения φ и составляли около 6 %, что примерно в 10 раз больше величины R_o^p . Это означает, что при отражении от МИС первично неполяризованного падающего пучка степень поляризации составит $P \approx 0.8$. Расчеты [4] для указанных выше углов падения дают значения $P = 0.85-0.97$, если пользоваться оптическими константами из работы [5].

Низкие значения коэффициента отражения R_o^s и большая полуширина кривых $R(\lambda)$ исследованных зеркал ($\Delta\lambda \approx 40-60 \text{ Å}$) связаны, по-видимому, с окислением пленок Si в процессе изготовления МИС, что приводит к существенному увеличению поглощения МР излучения в веществе структуры и, как следствие, к уменьшению числа периодов ($N \approx \lambda/\Delta\lambda \approx 5$), участвующих в образовании отраженной волны.

Таким образом, экспериментально показано, что поляризационные свойства МИС дают возможность создания эффективных поляризаторов в области мягкого рентгеновского излучения.

Л и т е р а т у р а

- [1] K h a n d a r A., D h e z P. // Proc. Soc. Photo-Opt. Instr. Eng. 1985. V. 563. P. 158-163.
- [2] Дез П. В кн.: Рентгеновская оптика и микроскопия / Под ред. Г. Шмаля и Д. Рудольфа. М.: Мир, 1987. С. 188-195.
- [3] A l e k s a n d r o v Yu.A., K o s h e v o i M.O., M u r a s h o v a V.A., N i k i t i n a T.F., R u p a s o v A.A., S k l i z k o v G.V., S h i k a n o v A.S., Y a k i m e n k o M.N., Z a k h a r e n k o v Yu.A., E i d m a n K., S i g e l R., T s a k i r i s G.D. Laser and Particle Beams, 1988.
- [4] К о з h e v n i k o v I.V., V i n o g r a d o v A.V. // Physica Scripta. 1987. T. 17. P. 137-147.
- [5] „Handbook of Optical Constants of Solids" ed. E.D. Palik, Academic Press, INC Orlando, Florida, 1985.