

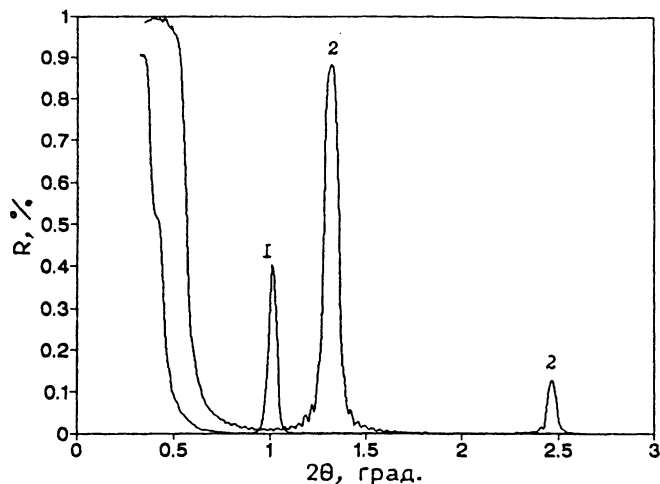
05;07;11;12

МНОГОСЛОЙНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОПТИКИ

© П.Е.Кондрашов, И.С.Смирнов, Е.Г.Новоселова,
А.М.Баранов

Важными элементами оптики рентгеновского диапазона являются зеркала скользящего падения и многослойные интерференционные структуры (МИС). В настоящее время наибольшее распространение получили МИС, в которых сильнопоглощающие слои из атомов тяжелых металлов (W, Ni и др.) чередуются со слабопоглощающими слоями легких атомов (C, Si и др.) [1]. Толщины слоев, составляющих МИС, изменяются от 0.5 до 10 нм. Однако при создании рентгеновских зеркал на основе двухкомпонентных МИС с металлическими слоями возникает ряд труднопреодолимых проблем. Так, невозможно одновременно получить высокую отражающую способность и хорошее разрешение [2]. Кроме того, в такой структуре трудно сохранить резкие границы раздела между слоями вследствие взаимодиффузии атомов, вызванной градиентом концентрации.

Решение этих проблем возможно при использовании для создания зеркал многослойных периодических структур, состоящих из слабопоглощающих слоев с близкими значениями диэлектрических постоянных. В данной работе впервые получены и исследованы рентгеновские зеркала, созданные на основе гидрогенизированных углеродных пленок (a -C:H) различной плотности. Выбор углерода для решения данной задачи связан с теми обстоятельствами, что, с одной стороны, он имеет один из наименьших коэффициентов поглощения в диапазоне 0.154–13 нм, а с другой стороны, благодаря наличию нескольких типов гибридизации связей (sp^1 , sp^2 , sp^3) позволяет получать различные структуры (от графитоподобных до алмазоподобных) с очень широким диапазоном свойств. При этом изменение степени гидрогенизации (в нашем случае от 10 до 30%) создает дополнительные возможности управления свойствами углеродных пленок, образующих многослойную структуру. Более того, присутствие водорода может в ряде случаев приводить к уменьшению поглощения рентгеновского излучения по сравнению с углеродными слоями, не содержащими водорода.



Зависимости $R = f(\Theta)$ для многослойной углеродной интерференционной структуры (кривая 1) и для Ni/C зеркала (кривая 2).

Многослойные углеродные интерференционные структуры (МУИС) были получены методами ионно-плазменного осаждения [3]. В качестве подложек использовались пластины плавленого кварца диаметром 3.0 см со среднеквадратичной шероховатостью поверхности 0.8 нм. Измерение свойств исследуемых структур было проведено на длине волны 0.154 нм. Для проведения сравнительного анализа использовалось стандартное Ni/C зеркало. Параметры обоих типов зеркал представлены в таблице.

Параметры структур	Тип зеркала	
	№ 1 (a-C:H _I /a-C:H _{II})	№ 1 (Ni/C)
Период структуры (нм)	9.4	7.2
Число периодов	59	30
Толщины слоев (нм)	4.7/4.7	2.4/4.8
Разница в декрементах преломления слоев	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$18 \cdot 10^{-6}$

Экспериментальные зависимости коэффициентов отражения зеркал № 1 и 2 от угла падения рентгеновского излучения $R = f(\Theta)$ представлены на рисунке (кривые 1 и 2 соответственно). Сравнение экспериментальных результатов показывает, что для многослойной углеродной интерференционной структуры при вдвое меньшем максимальном значении коэффициента отражения ($R_{\max} = 41\%$) мы полу-

чили в два раза большую разрешающую способность (полуширина первого брэгговского пика отражения $\Theta = 0.02^\circ$). Расчет теоретической зависимости для МУИС показал, что наблюдается очень хорошее совпадение экспериментальной и теоретической кривых, свидетельствующее о высоком качестве как всей структуры в целом, так и границ раздела между отдельными слоями.

Необходимо отметить еще одно важное преимущество МУИС при использовании их в рентгеновской спектроскопии. В спектре отражения исследованной структуры отсутствуют четные пики (см. рисунок, кривая 1), что является следствием одинаковой толщины слоев и хорошего постоянства толщины отдельных слоев в каждом периоде структуры. Гашения "четных" пиков отражения можно было бы добиться и на Ni/C зеркале при соответствующем увеличении толщины слоя Ni. Однако расчеты показывают, что это привело бы к снижению коэффициента отражения структуры приблизительно на 10% и уширению пика. В длинноволновом диапазоне уменьшение коэффициента отражения будет еще более значительным.

Таким образом, в результате работы впервые экспериментально показана возможность создания рентгеновских зеркал с практически интересными параметрами на основе многослойных структур со слабопоглощающими слоями. Экспериментально доказана возможность создания таких многослойных структур на основе углерода со слоями нанометровой толщины при использовании достаточно простых методов ионно-плазменной технологии. При этом отсутствие градиента концентраций на границе раздела слоев позволяет минимизировать их диффузионное размытие и тем самым получить более совершенные структуры.

Исследованные в работе углеродные зеркала можно отнести к МИС принципиально нового типа, поскольку они созданы при использовании только одного компонента — углерода, а не двух, как это был прежде. Особенности этих МУИС позволяют получить структуры с высокой разрешающей способностью и в то же время, за счет увеличения числа периодов с достаточным коэффициентом отражения в широком спектральном интервале. Отсутствие ограничений на соотношение толщин отдельных слоев в периоде легко позволяет выполнить условия, необходимые для подавления отражений высших периодов.

Авторы выражают благодарность В.В. Кондратенко за образец Ni/C рентгеновского зеркала, представленный для сравнительного анализа.

Список литературы

- [1] *Spiller E.* // *Sot X-ray Optics*. Washington. SPIE Optical Engineering Press. 1994. P. 279.
- [2] *Виноградов А.В., Кожевников И.В.* // Труды ФИАН. Т. 196. С. 63-102.
- [3] *Sleptsov V.V. et al.* // *J. Non-Cryst. Sol.* 1991. V. 136. P. 53-59.

Поступило в Редакцию
31 января 1996 г.
