

02;11
©1993**ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ
МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПВО***О.Л.Головин, Р.Ф.Фаязов*

Изучение отражательной способности различных материалов в рентгеновском и γ -диапазонах в последнее время приобрело особое значение в связи с бурным развитием рентгеновской оптики скользящего падения $[1-3]$. Широкий диапазон частот и углов падения рентгеновского излучения предъявляет высокие требования к качеству приповерхностных слоев материала, ответственных за его отражающие свойства.

В настоящей работе исследовано влияние качества поверхности (шероховатостей, неровностей, неоднородностей, дефектов структуры) на отражающие свойства материалов с использованием рентгено-дифракционных и рентгено-спектральных методик исследования тонких ($\sim 10 - 1000 \text{ \AA}$) слоев в условиях полного внешнего отражения (ПВО) $[4,5]$. Измерения проводились на диагностическом комплексе в составе спектрометра с 4 степенями свободы (двухкружный гониометр с вертикальной осью, устройство для крепления образца на гониометре с горизонтальной осью, линейный привод для подачи образца в пучок), 2 крейтов КАМАК с 16 функциональными блоками и специально разработанного устройства сопряжения с ЭВМ РС АТ.

Геометрия прибора определяется как физикой явления, так и параметрами пучка рентгеновского излучения. Монохроматизированный пучок рентгеновских лучей падает на исследуемый образец под малым углом скольжения θ , испытывая когерентное и некогерентное рассеяние на дефектах и неоднородностях поверхности и приповерхностного слоя. Зеркально отраженный пучок регистрируется детектором. Зависимость интенсивности отраженного пучка от величины θ — интегральная кривая, ее форма и интенсивность содержат информацию о совершенстве поверхностного слоя отражателя, его элементом составе и однородности.

По условиям эксперимента исходный пучок рентгеновского излучения должен быть достаточно хорошо заколлимирован и монохроматизирован ($\Delta\lambda/\lambda \lesssim 0.1\%$) с сохранением пространственного направления прямого пучка при изменении длины волны. Вертикальная коллимация $\simeq 1'$, а горизонтальная равна $2h/l$, где h — область "засветки" образца в направлении, перпендикулярном пучку, а l —

размер образца по пучку. Наличие двух взаимно перпендикулярных перемещений исследуемого образца и детектора позволяет получать локальные данные о всей отражающей поверхности образца. Дифференциальные по углу режимы эксперимента позволяют разделить эффекты от различных нарушений структуры приповерхностных слоев материала. Для таких режимов еще в большей степени, чем для интегральных режимов, характерны неоднородность и большой объем (десятки кБ для одного образца) данных, сложный алгоритм многочасовых экспериментов. Для получения дифференциальных кривых образец устанавливается неподвижно под заданным углом к падающему пучку θ , а детектор с установленной на нем вертикальной щелью вращается вокруг оси пучка и регистрирует зависимость интенсивности отраженных волн от угла выхода θ_n .

Для автоматизации эксперимента создано программное обеспечение, включающее в себя программу дистанционного управления установкой, программу регистрации спектров за один или несколько проходов, программы пер-

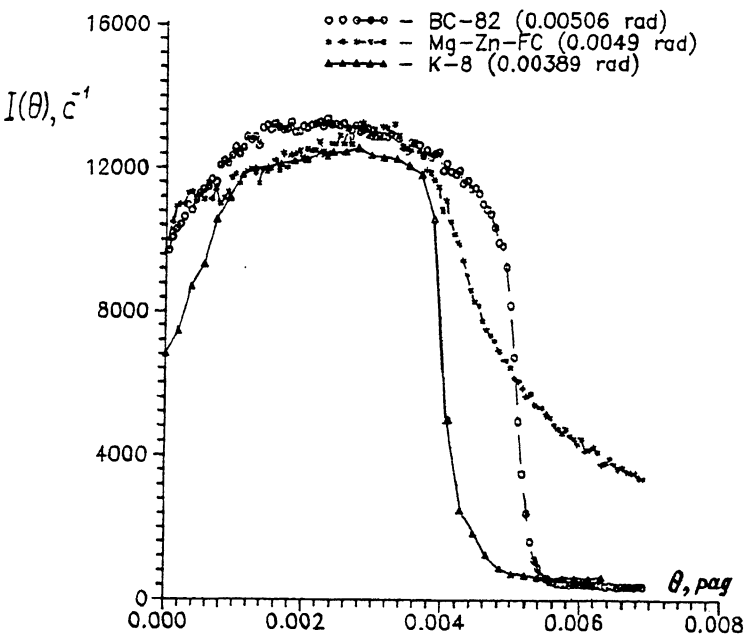


Рис. 1. Интегральные спектры угловой зависимости интенсивности отраженного сигнала $I(\theta)$ при $\text{CuK}\alpha$ — рентгеновском излучении ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$), падающего на поверхность различных типов стекол — BC-82 (0.00506 рад), Mg-Zn-FC (0.0049 рад), K-8 (0.00389 рад) под углом скольжения θ . В скобках указаны значения критических углов ПВО для этих типов стекол.

вичной обработки, сравнения и графического отображения данных эксперимента и теоретических расчетов, программы обработки серий файлов и поддержки базы данных. В результате стало возможным измерить и обработать сотни кривых отражения в спектральном диапазоне различных рентгеновских источников с высокой точностью и достоверностью. В качестве образцов аморфных материалов были выбраны стекла Mg-Zn-FC, BC-92 (SiO_2 — 31.03%; PbO — 63.76%; K_2O — 2.35%; BaO — 0.77%; TiO_2 — 0.22%; Co_2O_3 — 0.66%; Al_2O_3 — 0.11%; ZrO — 0.44%; As_2O_3 — 0.44%; Sb_2O_3 — 0.23% O, K8 (SiO_2 — 72%; B_2O_3 — 8.1%; CaO — 1.5%; As_2O_3 — 0.2%; MgO — 0.5%; K_2O — 10.5%; Na_2O — 7.2%), достаточно сильно отличающиеся по составу.

Полученные в результате экспериментов интегральные спектры угловой зависимости коэффициента отражения при CuK_α — рентгеновском излучении ($\lambda = 1.54\text{\AA}$) для указанных образцов приведены на рис. 1. Соответственно дифференциальные спектры углового уширения отраженного

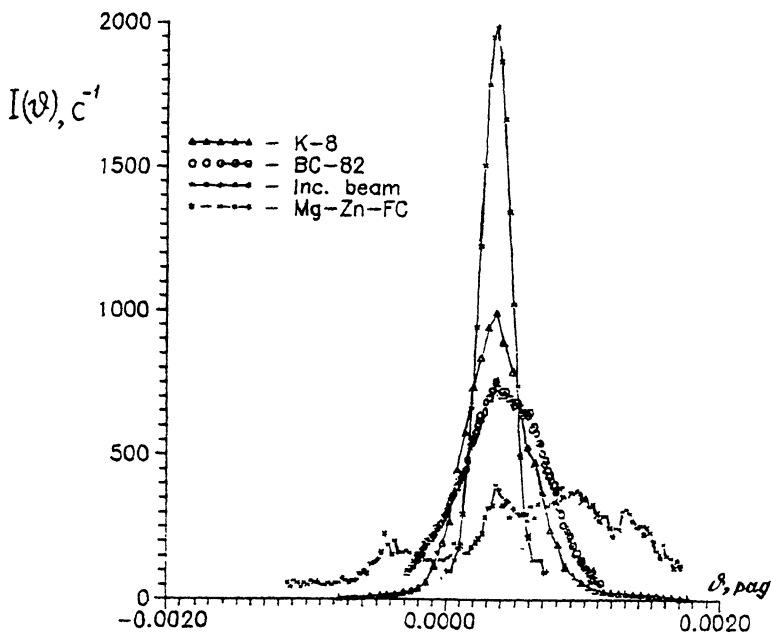


Рис. 2. Дифференциальные спектры зависимости интенсивности отраженного сигнала $I(\nu)$ от угла сканирования ν при CuK_α — рентгеновском излучении ($\lambda = 1.54\text{\AA}$), падающего на поверхность различных типов стекол — BC-82, Mg-Zn-FC и K-8 под углом скольжения $\theta = 12'$, в сравнении с интенсивностью падающего пучка (Inc. beam).

сигнала, позволяющие оценить степень шероховатости поверхности, неровности, неоднородности и дефекты структуры приповерхностных слоев рассматриваемых материалов приведены на рис. 2.

На основании полученных спектров можно сделать следующие выводы.

1. Для стекла К8 (14 класс чистоты), поверхность которого была принята за реперную, форма отраженного сигнала совпадает с падающим. При этом коэффициент передачи интенсивности в максимуме 50%, а в интеграле 90%. Критический угол падения $\theta_c \sim 13.4'$.

2. Для образца из ВС-92 получены близкие стеклу К8 интегральные и дифференциальные спектры, но при этом θ_c в 1.5 раза выше, чем для стекла К8.

3. Исследование образцов из стекла Mg-Zn-FC показало высокую неоднородность структуры, что существенно отразилось на форме дифференциального спектра. Основным механизмом появления аномального отражения является малоугловое рассеяние рентгеновского излучения на $I(\nu), \text{с}^{-1}$

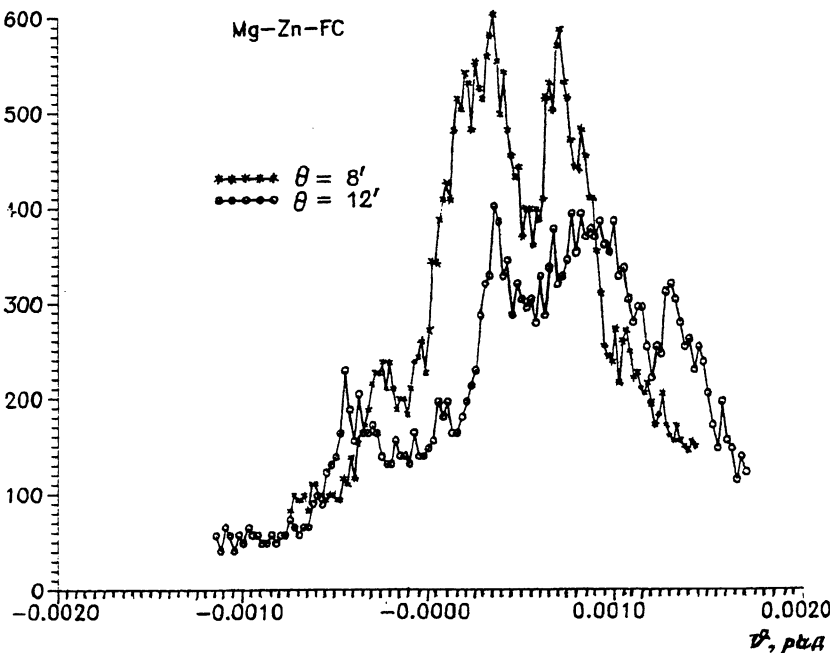


Рис. 3. Дифференциальные спектры угловой зависимости интенсивности отраженного сигнала $I(\nu)$ от угла сканирования ν при $\text{CuK}\alpha$ — рентгеновском излучении ($\lambda = 1.54\text{\AA}$), падающего на поверхность Mg-Zn-FC при двух углах скольжения θ — $8'$ и $12'$.

флуктуациях плотности среды в пределах поверхностного (переходного) слоя.

4. С увеличением угла скольжения до значения, близкого критическому, характерные для различных образцов изменения спектров отражения сглаживаются при общем уменьшении интенсивности сигналов, что уменьшает точность методики (см. рис. 3). Это связано с уменьшением коэффициента отражения в области критического угла скольжения ПВО.

Отметим, что относительно высокие отражающие свойства материала ВС-92 дают серьезное основание для использования его при создании рентгеновских волноводов, в особенности для жесткого диапазона энергий рентгеновских квантов 8-100 кэВ, т.к. угол захвата излучения для капилляров из ВС-92 будет в 1.5 раза выше, чем для применяемого ранее С-52 или К8, что соответственно приведет к увеличению передаваемой плотности энергии.

Авторы отдадут дань светлой памяти В.В.Лабузова, без помощи и поддержки которого данные исследования были невозможны.

Список литературы

- [1] *Кумахов М.А.* // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1990. V. B48. P. 283.
- [2] *Аркадьев В.А., Кумахов М.А., Фаязов Р.Ф.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. С. 226.
- [3] *Виноградов А.В., Коноплев Н.А., Попов А.В.* // ДАН СССР. 1982. Т. 266. С. 610.
- [4] *Афанасьев А.М., Александров П.А., Иمامов Р.М.* // Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов. М.: Наука, 1986.
- [5] *Головин О.Л., Кумахов М.А., Лабузов В.В., Фаязов Р.Ф.* // В материалах III Всесоюзной конференции по излучению релятивистских частиц в кристаллах. Нальчик, 25-30 мая 1988 г. 187 с.

Российский научный центр
"Курчатовский институт",
Москва

Поступило в Редакцию
17 июля 1993 г.