

РЕНТГЕНОВСКАЯ РЕФРАКТОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

© 1999 г. А. Г. Турьянский, И. В. Пиршин

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Россия, 117924, Москва, Ленинский просп., 53

Поступила в редакцию 05.03.99 г.

Описан метод рефрактометрии рентгеновского излучения с длиной волны ~ 0.1 нм. Зондирующий пучок направляется к исследуемой поверхности изнутри через боковой скол образца или в обратном направлении. Метод обеспечивает высокую степень достоверности измерений и возможность анализа участков малой площади. Это позволяет, во-первых, использовать его в тех случаях, когда на части поверхности образца создана какая-либо приборная структура, а во-вторых, резко снизить требования к плоскостности поверхности образца. Приведены результаты измерения параметров поверхностных слоев для монокристалла GaAs и многослойных гетероструктур на основе $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/\text{Si}$.

ВВЕДЕНИЕ

В нашей предыдущей публикации [1] была описана новая схема рентгеновского рефлектметра с двумя рабочими длинами волн и приведены различные примеры измерения угловой зависимости коэффициента отражения. В этой работе мы рассмотрим возможность применения предложенной схемы для исследования параметров поверхностных слоев с помощью рентгеновской рефрактометрии.

Первые измерения преломления (рефракции) рентгеновских лучей с длиной волны ~ 0.1 нм были проведены Хартли [2] при исследовании отражений различных порядков от кристаллов. Результаты измерений рефракции рентгеновских лучей на образцах из аморфных материалов были впервые приведены в [3]. Точность измерения была существенно улучшена при использовании варианта схемы двухкристального спектрометра для измерения углового сдвига преломленного пучка относительно реперного [4, 5]. Полученные в работах [2–5] результаты были важны как подтверждение справедливости теории электромагнитных волн в диапазоне частот, превышающих оптические на 3–4 порядка, однако не представляли большого интереса как метод измерения с точки зрения практики. Во-первых, рентгенооптические параметры материала могли быть сравнительно легко получены по угловым зависимостям коэффициента отражения в области полного внешнего отражения [6, 7]. Во-вторых, при измерениях в качестве образцов использовались специально изготовленные призмы с полированными гранями, образующими тупой угол, для того чтобы обеспечить двукратное прохождение излучения через границу раздела под малыми углами скольжения.

Следует отметить, что в последнее время вновь возрос интерес к проблеме практического использования рефракции жесткого рентгеновского излучения с энергией >20 кэВ. Однако это связано не с метрологией, а с возможностью создания фокусирующих систем [8] и получения фазового контраста при просвечивании объектов [9, 10].

При работе с образцами пластин полированных монокристаллов, полученных раскалыванием как вдоль плоскости спайности, так и по произвольной линии, заданной скрайбером, мы обнаружили, что по краю излома не происходит каких-либо деформаций, приводящих к отклонению от плоскостности. Кроме того, качество поверхности скола не оказывает заметного влияния на результаты измерения угла преломления при последовательном пропускании пучка через скол и оптически полированную поверхность. Это означает, что широкий класс используемых в физических экспериментах и на практике объектов не требует какой-либо специальной подготовки для проведения рефрактометрических измерений. Таким образом, основная задача в данном случае заключается в оценке аналитических возможностей метода и интерпретации полученных с его помощью данных.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА

При падении на границу раздела двух однородных сред плоской электромагнитной волны, поляризованной перпендикулярно плоскости падения, угловая зависимость отношения амплитуд отраженной E_s и падающей E_{os} волн определяется формулой Френеля [11]:

$$\frac{E_s}{E_{os}} = \frac{\sin \varphi_1 - n \sin \varphi_2}{\sin \varphi_1 + n \sin \varphi_2}, \quad (1)$$