

Краткие сообщения

05

Термоиндуцированная корректировка параметров рентгеновских дифракционных максимумов кристаллов

© В.Н. Трушин, А.А. Жолудев, А.С. Маркелов, Е.В. Чупрунов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603950 Нижний Новгород, Россия
e-mail: trush@phys.unn.runnet.ru

(Поступило в Редакцию 3 декабря 2003 г.)

Приведены результаты исследований влияния неоднородного теплового воздействия светового пучка на параметры дифракционного максимума кристалла кальцита. Показана возможность корректировки пространственного распределения интенсивности в рентгеновском пучке путем управления термоиндуцированным рассогласованием брэгговских отражений от локальных областей кристалла.

Одной из важных задач дифракционной рентгеновской оптики является разработка и создание оптических элементов для управления и коррекции жесткого рентгеновского излучения. Важность задачи связана с их практическим использованием в дифракционной рентгеновской литографии, медицине, микроэлектронике и других областях техники. Сложность решения данной задачи связана прежде всего со сложностью изготовления рентгенооптических элементов, отвечающих определенным требованиям. Поэтому часто возникает необходимость в корректировке волнового фронта рентгеновского пучка.

В данной работе на примере рентгеновского дифракционного максимума (РДМ) (228) кристалла кальцита (CaCO_3) исследуется возможность корректировки параметров кристаллов путем теплового воздействия светового пучка на их поверхность. Эксперимент проводился на двухкристальном рентгеновском спектрометре с высоким угловым разрешением ($\Delta d/d = 10^{-4}$) по схеме ($n, -n$). В качестве источника рентгеновского излучения применялась рентгеновская трубка БСВ-29 ($\text{CuK}\alpha_1$ -излучение, размеры фокусного пятна $0.4 \times 8 \text{ mm}$). В качестве монохроматора использовался германий (Ge) (511), вырезанный вдоль плоскости (111). Исследуемый образец, пластина размером $20 \times 15 \times 4 \text{ mm}$, вырезанный под углом 35 градусов по отношению к кристаллографической плоскости (228), крепился с помощью герметика на поверхности приставки, которая одновременно служила „холодильником“. Температура холодильника (22°C) поддерживалась с помощью термостата. Нагрев поверхности кристалла со стороны области дифракции осуществлялся световым излучением проекционной лампы и контролировался терпарой. Схема освещения образца представлена на рисунке, *a*.

На рисунке, *b* показано семейство кривых качания, полученных при разных температурах левой части поверхности образца. Исходная кривая качания *1* (снятая без освещения) состояла из двух пиков, положение которых

определялось начальной разориентировкой областей дифракции кристалла. Исходное положение разориентированных областей кристалла определялось топографическим методом (рисунок, *c*, топограмма *1*). На рисунке, *c* также показаны топограммы *3, 5* поверхности образца, полученные в процессе воздействия светового пучка на левую часть его поверхности. При термоиндуцированном увеличении температуры левой части поверхности образца, совпадающей с одним из двух блоков, кривая качания в целом смещается в сторону уменьшения углов и одновременно наблюдается уменьшение расстояния между максимумами кривой качания. Положение светового пучка относительно разориентированных областей (см. рисунок, *a*) определялось по максимальному изменению пиковой интенсивности кривых качания. При $t = 49^\circ\text{C}$ оба максимума кривой качания сливаются (кривая *5*).

Изменение формы кривой качания, представленное на рисунке, *b*, можно объяснить термоиндуцированным рассогласованием углового смещения РДМ, вызванного неоднородным освещением поверхности образца, а также изменением расходимости рентгеновских пучков, связанной с температурными градиентами [1,2]. Данная зависимость показывает, что определенным световым воздействием на кристалл в некоторых случаях возможно компенсировать рассогласование брэгговских отражений от разориентированных областей кристалла и тем самым уменьшить ширину кривой качания. Наблюдаемое в эксперименте изменение формы кривой качания зависит от энергии и геометрического положения светового пучка на поверхности кристалла. Например, при облучении правой части поверхности образца и сохранении границы света и тени на поверхности образца наблюдалось увеличение рассогласования брэгговских отражений (относительно исходного рассогласования).

Угловое положение РДМ от локальной, однородной области кристалла, находящейся под воздействием температурного градиента, зависит от температуры этой области, а также от распределенного в ней температурного

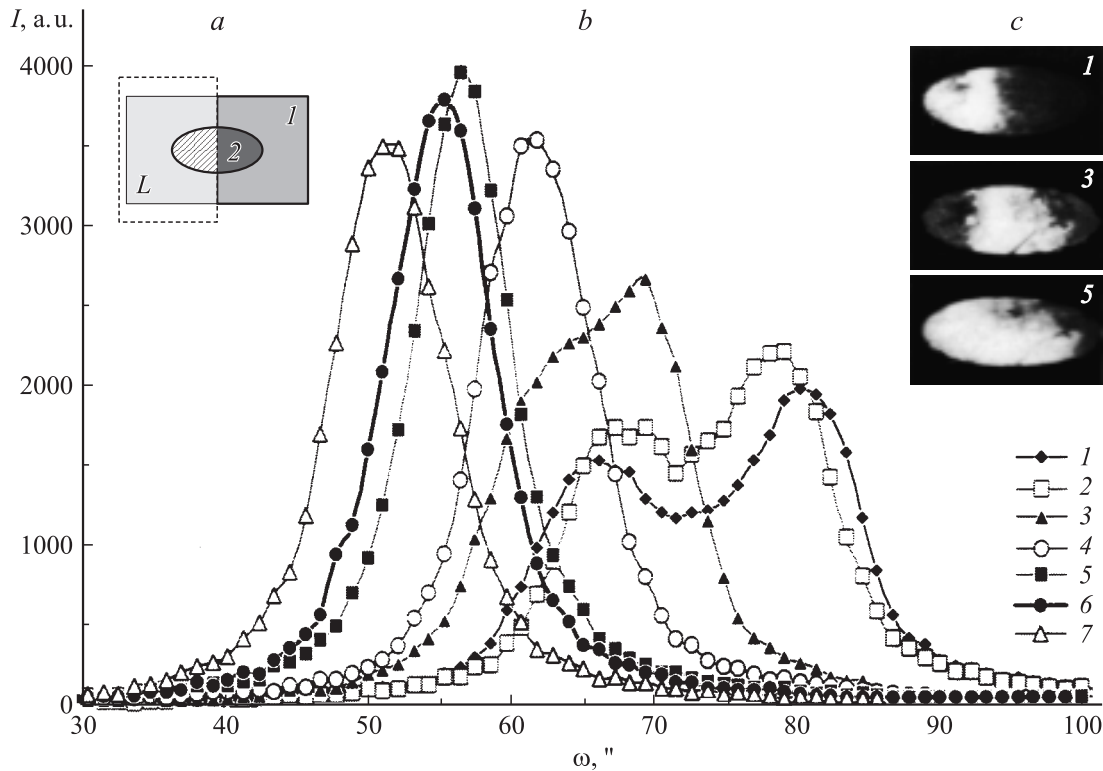


Схема (а) освещения поверхности образца: 1 — образец, 2 — область дифракции. Пунктир — граница освещения (L). 1–7 (b) — кривые качания, снятые при нагреве левой части поверхности образца до 22, 28, 30, 43, 49, 58 и 72°C соответственно. с — топограммы части поверхности кристалла, полученные в тех же условиях освещения, при которых были сняты кривые 1, 3, 5.

градиента. Температурная зависимость (без учета температурного градиента) угла брэгговского отражения θ_{ij} для точки поверхности кристалла с координатами ij выражается следующим образом:

$$\theta_{ij} = \arcsin \left(\frac{\lambda}{2(d_{0ij} + d_{0ij}\alpha\Delta t_{ij})} \right), \quad (1)$$

где θ_{ij} — брэгговский угол для (hkl) плоскостей в точке с координатами ij ; t_{ij} — значение температуры поверхности кристалла в точке с координатой ij ; λ — длина волны; α — коэффициент теплового расширения кристалла в направлении вектора обратной решетки; $d_{ij} = d_{0ij} + \Delta d_{ij}$; d_{0ij} — значение межплоскостного расстояния в точке поверхности кристалла при температуре t_0 , t_0 — температура неосвещенной области кристалла; Δd_{ij} — изменение межплоскостного расстояния в точке с координатами ij , вызванное изменением температуры Δt_{ij} в этой точке.

По формуле (1) можно качественно объяснить исчезновение расщепления пиков от двух блоков. Для количественной оценки необходимо учитывать многие факторы, такие как теплопроводность образца, условия отвода тепла, форму блоков, а также рентгенооптическую схему эксперимента. Поэтому для количественной оценки условий исчезновения пиков от двух (или нескольких) областей необходимо ввести некоторые поправки, связанные с конкретными условиями проведения эксперимента.

Таким образом, с помощью теплового воздействия светового пучка на поверхность дифрагирующего кристалла можно локально корректировать его параметры, управлять пространственным распределением интенсивности в рентгеновской пучке. Используя тепловое воздействие светового пучка на поверхность кристаллов, можно также (в пределах ширины кривой качания) изменять угловую расходимость рентгеновских пучков.

Данный метод корректировки параметров дифрагирующего кристалла может быть использован в рентгеновской дифрактометрии, в случаях, когда необходимо интерактивно, заданным образом изменять ширину кривой качания монохроматора. Это позволит, например, изменять величину области дифракционного отражения от исследуемого кристалла. Возможность создания с помощью светового пучка на поверхности кристалла или многослойной структуре необходимого профиля тепловой деформации позволяет управлять их дисперсионными свойствами, что является важным в фокусирующих оптических системах.

Список литературы

- [1] Мкртчян А.В. // Изв. Академии наук Армянской ССР. Физика, 1986. Т. 29. № 6. С. 26–31.
- [2] Трушин В.Н., Рыжкова Т.М., Фадеев М.А. и др. // Кристаллография. 1993. Т. 38. № 4. С. 213–218.