



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГИИТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- 1
- (21) 4414790/31-25
  - (22) 25.04.88
  - (46) 28.02.90. Бюл. № 8
  - (71) Минский радиотехнический институт
  - (72) Е.А. Кондрашкина, С.А. Степанов и Д.В. Новиков
  - (53) 621.386 (088.8)
  - (56) Bonse H., Hart M. Tailles x-ray single-crystal reflection curves obtained by multiple reflection. - Appl. Phys. Lett, 1965, v. 7, p. 238-240.

Авторское свидетельство СССР  
№ 1103126, кл. G 01 N 23/20, 1983.

- (54) СПОСОБ КОЛЛИМАЦИИ И МОНОХРОМАТИЗАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
- (57) Изобретение относится к области рентгеновской оптики и позволяет получить монохроматический пучок рент-

2

геновских лучей, коллимированный в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с расходимостью порядка угловой секунды. Целью изобретения является обеспечение дополнительной коллимации в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции. Используют монокристалл, установленный в положении оокольного возбуждения запрещенного отражения с помощью многоволновой дифракции, и устройство ограничения угловой расходимости рентгеновского пучка в плоскости дифракции запрещенного отражения. При этом вектор обратной решетки вторичного отражения, оокольного возбуждающего запрещенное отражение, ориентирован в плоскости, не совпадающей с плоскостью дифракции запрещенного отражения. 3 ил.

Изобретение относится к рентгеновской оптике и может быть использовано в материаловедении для исследования структуры тонких поверхностных слоев кристаллов с помощью методов рентгеновской дифракции в условиях полного внешнего отражения (РДПВО).

Цель изобретения - обеспечение дополнительной коллимации рентгеновского пучка в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции.

На фиг. 1 изображен коллимирующий монохроматор для осуществления предлагаемого способа; на фиг. 2 - измеренные дифференциальные кривые РДПВО,

т.е. зависимости интенсивности  $I$  дифрагированного пучка от изменения угла  $\theta - \theta_0$  Брэгга при фиксированном угле падения, равном 13 угловым минутам (кривая показана сплошной линией) и 22 угловым минутам (кривая показана пунктирной линией); на фиг. 3 - кривые интенсивности зеркального отраженного проходящего пучка, измеренные одновременно с дифференциальными кривыми РДПВО и в зависимости от тех же параметров.

Сущность способа состоит в использовании эффекта оокольного возбуждения запрещенного брэгговского отражения с

помощью многоволновой дифракции (эффект Реннингера). Если монокристалл находится в положении запрещенного брэгговского отражения, то интенсивность дифрагированного пучка практически равна нулю. Однако путем вращения вокруг вектора  $\vec{c}_1$  обратной решетки запрещенного отражения, кристалл можно вывести в брэгговское положение для вторичного отражения с вектором  $\vec{c}_2$ . При этом происходит окольное возбуждение первичного запрещенного отражения. Если вектор обратной решетки вторичного отражения лежит в плоскости дифракции первичного отражения, то окольно возбужденный дифрагированный пучок коллимирован только в этой плоскости, но при этом выделяется излучение только одной длины волны. В предлагаемом устройстве используется случай, когда вектор обратной решетки вторичного отражения не лежит в плоскости дифракции первичного отражения. При этом, если падающее на кристалл излучение содержит только одну длину волны, то окольно возбужденный дифрагированный пучок оказывается коллимированным в двух плоскостях с угловой расходимостью порядка 1 угловой секунды, определяемой собственной шириной максимумов динамической дифракции.

Если же падающее излучение немонохроматично, то окольно возбужденный дифрагированный пучок образует расходящийся "веер", соответствующий дисперсии угла Брэгга по длинам волн. Каждой длине волны соответствует свой угол выхода в горизонтальной плоскости и вертикальной, определяемый формулами

$$\Delta\theta = \operatorname{tg} \theta_B \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda}; \quad (1)$$

$$\Delta\varphi = \operatorname{tg} \theta_{\text{эф}} \frac{\Delta\lambda}{\lambda}, \quad (2)$$

где  $\Delta\theta$  и  $\Delta\varphi$  - отклонение рентгеновского пучка соответственно в плоскости дифракции и в перпендикулярной к ней плоскости, вызванные изменением длины волны  $\lambda$  на величину  $\Delta\lambda$ ;

$\theta_B$  - угол Брэгга для запрещенного отражения;

$\theta_{\text{эф}}$  - эффективный угол Брэгга, связанный с  $\theta_B$  соотношением

$$\operatorname{tg} \theta_{\text{эф}} = \operatorname{tg} \theta_B / (\operatorname{tg} \theta_{\text{max}} \cdot \cos \theta_B \cdot \sin \omega), \quad (3)$$

где  $\theta_{\text{max}}$  - угол Брэгга запрещенного отражения, соответствующий такой длине волны, при которой вектор обратной решетки вторичного отражения лежал бы в плоскости дифракции первичного отражения.

Величина угла  $\theta_{\text{max}}$  полностью определяется выбором индексов первичного и вторичного отражений в кристалле и равна острому углу между векторами  $\vec{c}_2$  и  $(\vec{c}_1 - \vec{c}_2)$ .

Угол  $\omega$  - угол отклонения вектора обратной решетки вторичного отражения от плоскости дифракции первичного.

Из формул (1) - (3) следует, что если ограничить  $\Delta\theta$  - угловую расходимость в плоскости дифракции с помощью второго монокристалла или щели, то тем самым ограничится спектральный интервал  $\Delta\lambda/\lambda$  и соответственно расходимость  $\Delta\varphi$  в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции. Кроме того, выбирая различные индексы вторичного отражения, можно изменять  $\theta_{\text{эф}}$  и тем самым изменять величину угловой расходимости в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции.

Устройство для осуществления предлагаемого способа содержит монокристалл 1 и устройство ограничения угловой расходимости рентгеновского пучка - щель 2. Монокристалл 1 установлен в положении брэгговского отражения падающего на него рентгеновского пучка 3. В качестве устройства ограничения угловой расходимости может использоваться как показанная на фиг. 1 щель 2, так и второй монокристалл в положении брэгговской дифракции. Конструктивно монокристалл 1 установлен на двухкружном гониометре 4, а щель 2 - на соответствующем штативе. Монокристалл 1 установлен по оси  $\theta$  в положение первичного запрещенного брэгговского отражения, а по оси  $\varphi$  повернут на такой угол, что выполнено условие Брэгга для вторичного отражения, обеспечивающего окольное возбуждение запрещенного отражения, причем плоскость, в которой расположены вектора обратной решетки первичного  $\vec{c}_1$  и вторичного  $\vec{c}_2$  отражений, не

совпадает с плоскостью дифракции первичного отражения.

Способ осуществляют следующим образом.

На монокристалл посылают расходящийся пучок немонахроматических рентгеновских лучей где он претерпевает запрещенное брэгговское отражение, окольно возбужденное с помощью многоволновой дифракции. Дифрагированный пучок представляет собой расходящийся наклонный "веер" рентгеновских лучей, соответствующий дисперсии угла Брэгга по длинам волн. Каждой длине волны соответствует свой угол выхода лучей в горизонтальной и вертикальной плоскостях. С помощью устройства ограничения угловой расходимости коллимируют рентгеновский пучок в плоскости дифракции и тем самым ограничивают спектральный состав излучения, а следовательно, и расходимость пучка в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции.

Способ реализован на стандартном трехкристальном рентгеновском спектрометре, оборудованном рентгеновской трубкой 0,3БСВ-25 и с точечным фокусом размером (0,2x0,1) квадратных миллиметров. В качестве кристалла-монокроматора использован монокристалл германия с ориентацией поверхности (III), в качестве устройства ограничения угловой расходимости в плоскости дифракции - вертикальная щель. Для юстировки коллимирующего монохроматора кристалл германия вводили в пучок и поворачивали на угол Брэгга 28,2 градуса для запрещенного (222) - отражения  $CuK_{\alpha}$  излучения. Детектор рентгеновского излучения располагали под двойным углом Брэгга к направлению первичного пучка. После кристалла-монокроматора устанавливали юстировочные щели - вертикальную и горизонтальную, шириной 200 микрон. Кристалл германия поворачивали вокруг вектора обратной решетки запрещенного отражения - по углу  $\varphi$  в интервале 40-50 градусов и регистрировали интенсивность наиболее сильных пиков многоволновой дифракции. Затем монокристалл устанавливали по углу  $\varphi$  в положение, соответствующее вторичному отражению (III), угол  $\theta_{эф}$  для которого, рассчитанный по формуле (3), равен 7,0 градусам. Горизонтальную щель убирали. Вертикальная щель име-

ла ширину 200 микрон, что обеспечивало угловую расходимость пучка в горизонтальной плоскости порядка 8 угловых секунд (с учетом свертки с кривой отражения исследуемого кристалла) и в вертикальной - порядка 15 угловых секунд. Интенсивность коллимированного рентгеновского пучка составляла примерно 1000 импульсов в секунду при анодном напряжении рентгеновской трубки 30 киловольт и токе 10 миллиампер.

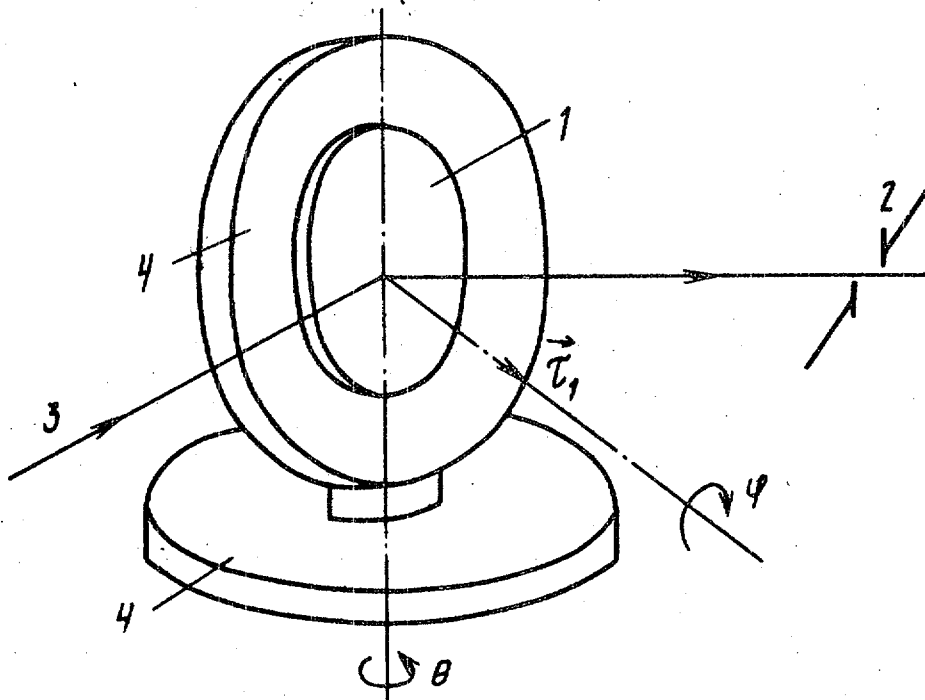
С помощью коллимирующего монохроматора измерены дифференциальные кривые (220) - РДПВО от совершенного кристалла кремния с ориентацией поверхности (III). Для этого кристалл кремния устанавливали вертикально в положение (220) - отражения по Лауэ, а затем поворачивали вокруг вектора обратной решетки  $[2\bar{2}0]$ , добиваясь уменьшения угла падения коллимированного рентгеновского пучка на поверхность кристалла до нескольких угловых минут при сохранении условий дифракции. Регистрировали при этом интенсивность зеркально отраженного дифрагированного и зеркально отраженного прошедшего пучка в зависимости от изменения угла Брэгга при фиксированном угле падения. Измеренные кривые приведены на фиг. 2 и фиг. 3. Кривые РДПВО для дифрагированного пучка демонстрируют обрыв интенсивности со стороны углов дифракции меньших брэгговского, для проходящего - характерную асимметрию формы.

#### 40 Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

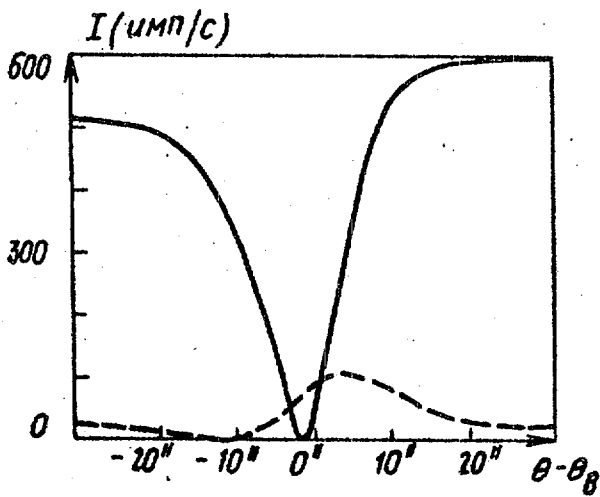
Способ коллимации и монохроматизации рентгеновского излучения, заключающийся в том, что рентгеновское излучение направляют на кристалл-монокроматор и расходимость монохроматизированного излучения в плоскости дифракции ограничивают коллимирующим устройством, отличающийся тем, что, с целью обеспечения дополнительной коллимации рентгеновского пучка в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции, кристалл-монокроматор ориентируют относительно падающего пучка в положение многоволновой дифракции, при котором осуществляется окольное возбуждение запрещенного брэгговского отражения, причем

вектор обратной решетки разрешенного отражения ориентируют в плоскости, не

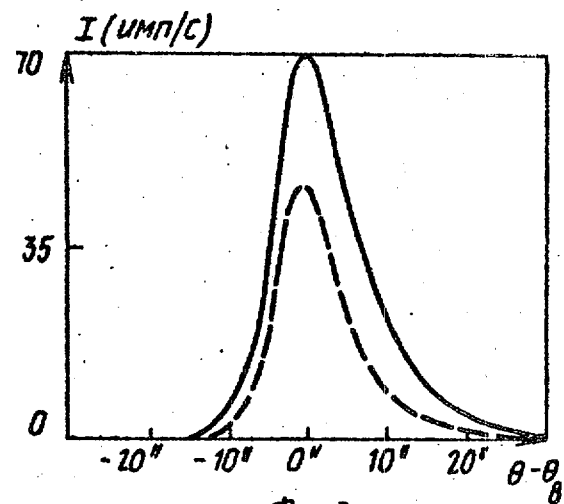
совпадающей с плоскостью дифракции запрещенного отражения.



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3

Редактор А.Ревин      Составитель О.Алешко-Ожевский      Техред Л.Сердюкова      Корректор Т.Малец

Заказ 84/90      Тираж 349      Подписное  
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г.Ужгород, ул. Гагарина, 101