

02;12

Угловая зависимость положения когерентного пика в спектре поляризованного тормозного излучения релятивистских электронов в полукристалле

© Н.А. Гостищев, А.С. Кубанкин, Н.Н. Насонов,
В.В. Полянский, В.И. Сергиенко, В.А. Хабло

Белгородский государственный университет
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
E-mail: sergienk@x4u.lebedev.ru

Поступило в Редакцию 4 февраля 2008 г.

Выполнено экспериментальное измерение спектров рентгеновского поляризованного тормозного излучения (ПТИ) электронов с энергией 7 MeV в поликристаллических мишенях алюминия и меди. Измерена зависимость характеристик ПТИ от угла излучения и показано согласие экспериментальных данных и теоретических расчетов. Полученные результаты позволяют рассчитывать на развитие нового метода диагностики поликристаллических материалов, основанного на измерении характеристик когерентной составляющей ПТИ.

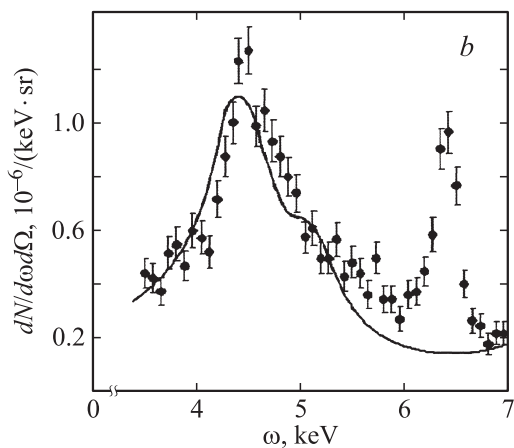
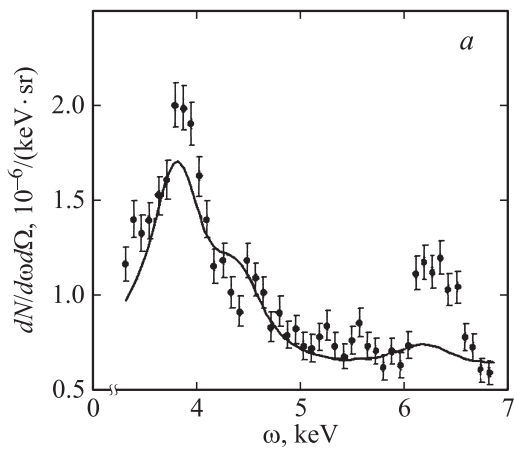
PACS: 78.70.-g, 78.70.Ck

ПТИ возникает в результате рассеяния кулоновского поля движущейся в веществе быстрой заряженной частицы атомными электронами вещества [1,2]. Особенностью обсуждаемого механизма излучения является большая, сравнимая с атомным размером величина эффективного прицельного параметра столкновения частицы с атомами, что приводит к существенной зависимости характеристик ПТИ от межуатомных корреляций в мишени. Указанное обстоятельство стимулировало теоретические и экспериментальные исследования возможности создания нового метода диагностики атомной структуры вещества, основанного на измерении характеристик ПТИ в рентгеновской области. В частности в спектре ПТИ релятивистских электронов, движущихся в поликристаллических твердых телах [3–5]. Положения пиков в спектре ПТИ

оказались однозначно связанными с параметрами решетки микрокристаллитов, составляющих поликристалл, причем данные измерений находились в хорошем согласии с развитой моделью ПТИ в поликристалле. Необходимо отметить, что измерения [4,5] выполнены при фиксированном значении угла излучения (угол между осью электронного пучка и направлением, под которым рентгеновский детектор регистрирует фотоны из мишени), равном 90° . Между тем значение угла излучения определяет положение когерентного пика в спектре ПТИ. Это крайне важно для идентификации пика, поскольку в измеренных спектрах обычно проявляется много пиков, имеющих различную природу. Например, очень часто присутствуют пики характеристического излучения атомов мишени и элементов конструкции установки, положение которых не зависит от угла. Спектры ПТИ в поликристалле при различных углах измерены в работе [6], однако в указанной работе отсутствовало сравнение с теорией. Необходимым этапом разработки метода определения параметров решетки поликристаллов по ПТИ являются количественные измерения зависимости положения и формы когерентных пиков в спектре ПТИ от угла измерения и сравнение их с расчетными.

Измерения были выполнены на установке, созданной на микротроне Физического института. Электронный пучок с энергией 7 MeV формировался магнитооптическим каналом и направлялся в вакуумную камеру, в которой располагалась мишень. В качестве мишеней в данном эксперименте использовались поликристаллические фольги алюминия толщиной $8.5\text{ }\mu\text{m}$ и меди толщиной $15\text{ }\mu\text{m}$, расположенные под углом 45° к оси пучка. Рентгеновское излучение из мишени, выходящее в переднюю полусферу, регистрировалось в телесном угле $1.5 \cdot 10^{-6}\text{ sr}$ неохлаждаемым кремний-литиевым PIN-детектором с энергетическим разрешением порядка 200 eV в измеряемой области спектра. Интенсивность электронного пучка измерялась цилиндром Фарадея, расположенным в конце установки. Установка не была отделена по вакууму с микротроном, который поддерживался на уровне 10^{-5} Torr . В процессе набора данных одновременно измерялось число рентгеновских фотонов в каждом канале спектра и число электронов, прошедших через мишень.

Спектры ПТИ выхода фотонов на электрон из алюминиевой мишени, измеренные под углами 90 и 75° , показаны на рисунке (на рисунке демонстрируется зависимость спектрально-угловой плотности излучения от энергии фотонов, фактически измерявшаяся в экспе-



Распределение по энергии выхода из алюминиевой мишени фотонов, нормированное на один электрон в единицу телесного угла: *a* — угол излучения 90° , *b* — угол излучения 75° .

рименте). Здесь же приведены теоретические кривые, рассчитанные на основе общей формулы для спектрально-углового распределения интенсивности ПТИ релятивистских электронов в поликристалле [7] с использованием известных значений межплоскостных расстояний в

кристалле алюминия. Кривые учитывают также поглощение фотонов в мишени. В измеренных спектрах четко выделяется когерентный пик ПТИ, который сдвигается с 3.78 keV при значении угла 90° до 4.44 keV при угле 75° . Наблюдается хорошее согласие измеренных и рассчитанных спектров как по положению, так и абсолютной величине выхода ПТИ. В спектрах присутствует в качестве фона характеристический пик железа в области энергии 6.4 keV, образовавшийся из-за попадания электронов пучка на стенки и детали мишени камеры. Измерения под 90° и под меньшими углами были выполнены на двух разных по конструкции камерах мишени. Этим объясняются разные по амплитуде пики железа.

Спектры выхода фотонов ПТИ из медной мишени были получены при значениях углов 90 , 83 и 75° . Сдвиг основного когерентного пика ПТИ с 4.27 keV (при 90°) до 4.62 keV (при 83°) и до 4.95 keV (при 75°) находится в согласии с теоретическими расчетами.

Приведенные результаты показывают возможность идентификации когерентных пиков ПТИ по их положению в спектрах в зависимости от угла измерения и согласие экспериментальных данных и теоретической модели ПТИ, развиваемой с участием авторов данной работы. Используемая схема не требует трудоемких экспериментов и позволяет рассчитывать на развитие нового метода диагностики поликристаллических материалов, основанного на измерении характеристик когерентной составляющей ПТИ.

Авторы благодарны А.Н. Елисееву и И.Е. Внукову за помощь в проведении эксперимента.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы „Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России (контракт № 02.513.11.3374)“ и фонда РФФИ (грант РФФИ № 07-02-1226-офи).

Список литературы

- [1] *Поляризованное тормозное излучение частиц и атомов* / Под ред. В.Н. Цытович, И.М. Ойрингель. М.: Наука. 1987.
- [2] *Король А.В., Лялин А.Г., Соловьев А.В.* Поляризованное тормозное излучение. СПб.: Изд. СПб ГПУ, 2004.
- [3] *Nasonov N.* // Nucl. Instr. Meth. 1998. V. B145. P. 19–24.

- [4] *Blazhevich S., Cherpurnov A., Grishin V. et al. // Phys. Lett. 1999. V. A254. P. 230–232.*
- [5] *Астапенко В.А., Кубанкин А.С., Насонов Н.Н. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2006. Т. 84. В. 6. С. 341–344.*
- [6] *Takayaushi Y., Endo I., Ueda K. et al. // Nucl. Instr. Meth. 2006. V. B195. P. 453–457.*
- [7] *Astapenko V., Nasonov N., Zhukova P. // J. Phys. 2007. V. B40. P. 1337–1346.*