

Параметрическое рентгеновское излучение из нанопорошковых мишеней

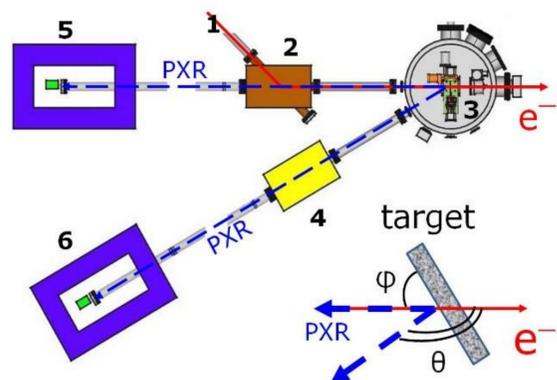
В.И. Алексеев¹, А.Н. Елисеев¹, И.А. Кишин^{1,2,*}, А.С. Кубанкин^{1,2}, Р.М. Нажмурдинов^{1,2}, Е.Ю. Киданова²

1) Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

2) Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

*) e-mail: ivan.kishin@mail.ru

В работе представлены результаты первого наблюдения параметрического рентгеновского излучения (ПРИ), полученного в кристаллическом порошке, состоящем из кристаллитов, наибольшие размеры которых составляют порядка 5 нанометров. ПРИ регистрировался при взаимодействии электронного пучка с энергией 7 МэВ с порошком платины. Спектры ПРИ наблюдались под углами 150° и 180° относительно скорости движения электронов. Поверхность мишени была ориентирована перпендикулярно оси пучка. Экспериментальные результаты были сопоставлены с кинематической теорией, был проведен анализ влияния размеров кристаллитов на полуширину пика ПРИ и интенсивность пиков ПРИ.



Основные характеристики

микротрона:

- энергия ускоренных электронов 7 МэВ;
- частота следования импульсов 50 Гц;
- длительность импульса до 4 мкс;
- импульсный ток 40 мА;
- начальное расхождение 3 мрад в целевой позиции
- диаметр пучка электронов 5 мм.

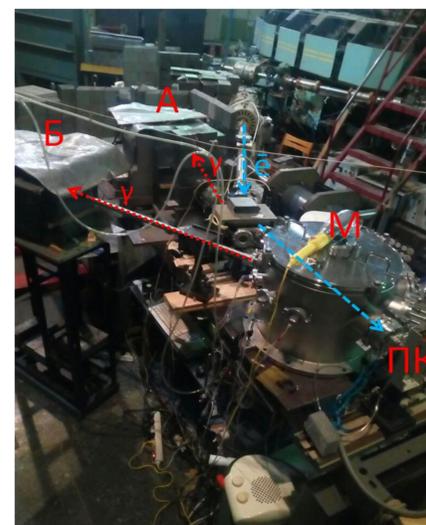
Параметры детектора X123-SDD:

Размер кристалла (Si) — 25 мм² × 500 мкм, толщина входного окна (Be) — 12.5 мкм, разрешение (в области 5.9 кэВ) — 126 эВ при времени формирования 1 мкс, максимальная скорость счета — до 2×10⁶ с⁻¹ эффективность (в области 2–10 кэВ) — 70-100

Фотография установки

«Рентген 1»:

А и Б фотонные каналы, М – мишенная камера, ПК – пропорциональная камера.



Экспериментальная установка

«Рентген 1»:

- 1 - падающий электронный пучок,
- 2 - поворотный магнит,
- 3 – камера мишени,
- 4 - поворотный магнит для вторичных частиц, образующихся в камера мишени,
- 5 и 6 - детекторы.



Камера для размещения

мишени: мишенная камера (1), мишень (2) трехосевой гониометр (3), линейный транслятор (4) для перемещения цилиндра Фарадея (5).

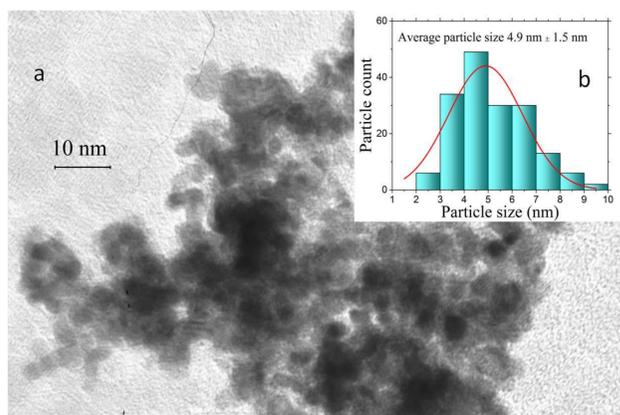


Рис. 1

Средний размер кристаллитов $4,9 \pm 1,5$ нм был установлен при измерении 120 образцов на изображениях, сделанных просвечивающим электронным микроскопом JEM-2100.

Рис. 1 – а) Изображение порошка с ПЭМ. б) Гистограмма, подгоняемая по гауссову распределению для определения среднего размера и стандартного отклонения размера кристаллитов.

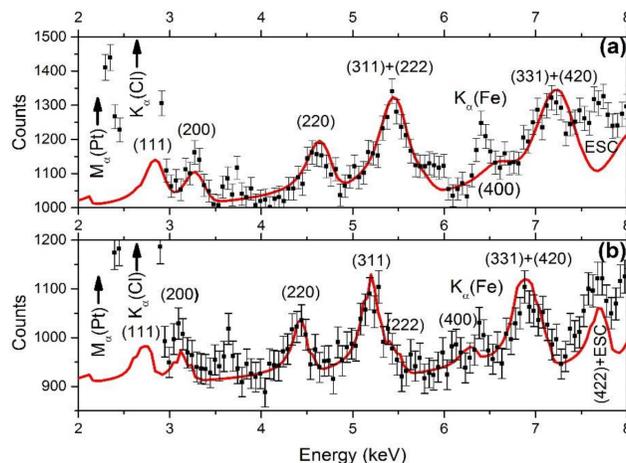


Рис. 2

На рисунке выше показаны полученные спектры для платиновой мишени в сравнении с кинематической теорией ПРИ [1], [2]. Хорошее соответствие с теорией для (200), (220), (311), (222), (331), и (420) пики ПРИ относительно их положения, формы и относительной интенсивности можно наблюдать в обоих спектрах. а) Спектр, измеренный при $\theta=150^\circ$, б) Спектр, измеренный при $\theta=180^\circ$.

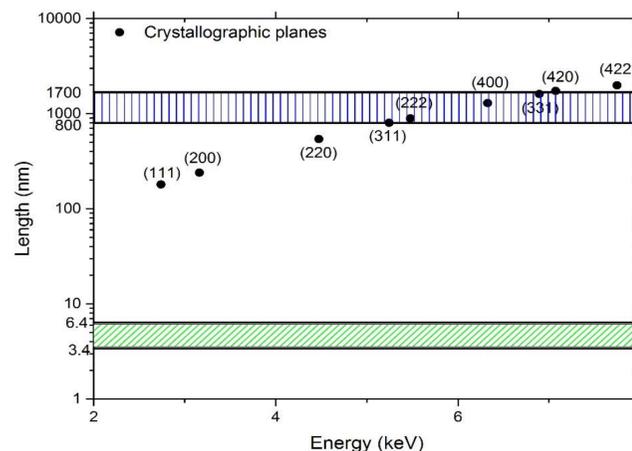


Рис. 3

Черные точки обозначают длину затухания для фотонов, энергия которых соответствует пикам ПРИ из разных кристаллографических плоскостей, заштрихованная область представляет размеры кристаллитов, использованных в предыдущих экспериментах (вертикальные линии) и в настоящем эксперименте (наклонные линии).

Выводы:

- 1) Было проведено первое измерение ПРИ, полученного в кристаллитах наноразмерных порошков
- 2) В нанопорошках платины ПРИ может быть описан кинематической теорией ПРИ, даже когда размер кристаллитов в несколько раз меньше длины фотопоглощения
- 3) ПРИ может быть использован для оценки размера кристаллов в аналогичной установке, если размер кристаллитов меньше 5 нм

Литература:

- [1] N. N. Nasonov, "Collective effects in the polarization bremsstrahlung of relativistic electrons in condensed media," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, vol. 145, no. 1–2, pp. 19–24, 1998.
- [2] V. Astapenko, N. Nasonov, and P. Zhukova, "Anomalous peak in the spectrum of polarizational bremsstrahlung from relativistic electrons moving through a solid target," Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, vol. 40, no. 7, pp. 1337–1346, 2007.