

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

Лабораторная работа

«Просвечивающая электронная микроскопия»

Работу выполнил студент 3 курса
Захаров Сергей Дмитриевич



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Москва
2020

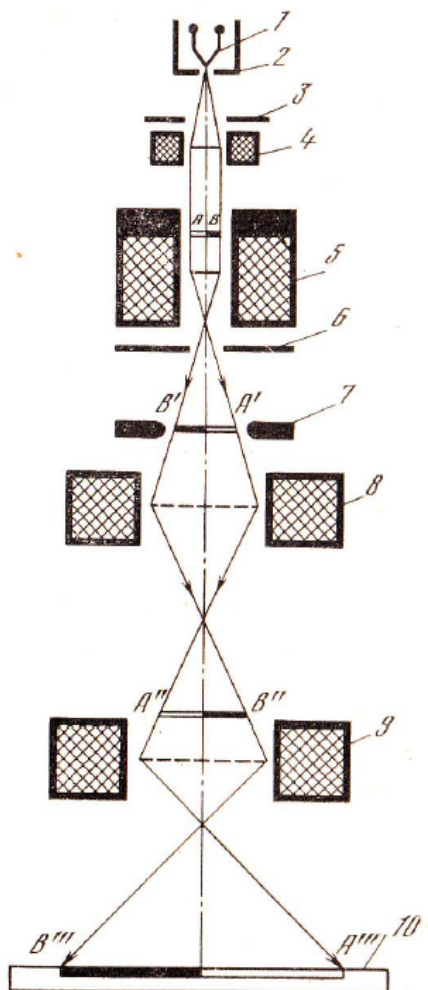
Содержание

1. Общая вводная про метод просвечивающей электронной микроскопии	2
2. Расчет точечной электронограммы	3
3. Расчет кольцевой электронограммы	5

1. Общая вводная про метод просвечивающей электронной микроскопии

Указанный метод состоит в прохождении пучка электронов сквозь образец и взаимодействии с ним. Те электроны, которые проходят, фокусируются на чем-то, дающем изображение (фотопластинка, ПЗС-матрица и т.п.). Просвечивающий микроскоп в целом состоит из одних и тех же основных частей, а именно вакуумной системы, источника электронов, нескольких электромагнитных линз, устройства, формирующего изображение (см. выше) и устройства для перемещения образца под электронным пучком. Оптическая схема микроскопа приведена на рисунке 1.

Преимуществом использования электронного микроскопа является больший предел разрешения по сравнению с обычными оптическими в силу использования меньшей длины волны (по сравнению с волнами оптического диапазона).



1-катод, 2-управляющий электрод,
3-анод, 4-конденсорная линза,
5-объективная линза, 6-апертурная диафрагма,
7-селекторная диафрагма, 8-промежуточная линза,
9-проекционная линза, 10-экран (фотопластинка)

Рис. 1. Оптическая схема электронного микроскопа

2. Расчет точечной электронограммы

Точечная электронограмма по своей сути есть почти неискаженная проекция плоскости обратной решетки на некоторый экран (см. рисунок 2).



Рис. 2. К вопросу возникновения точечной электронограммы

Для пересчета запишем:

$$\frac{|\vec{r}^*|}{\lambda^{-1}} = \frac{r}{L} \Rightarrow |\vec{r}^*| = \frac{r}{\lambda L} \quad (1)$$

Здесь \vec{r}^* — вектор обратной решетки, r — радиус-вектор от рефлекса на исследуемой электронограмме, L — расстояние от кристалла до экрана, λL — постоянная электронографа, которую мы будем обозначать C .

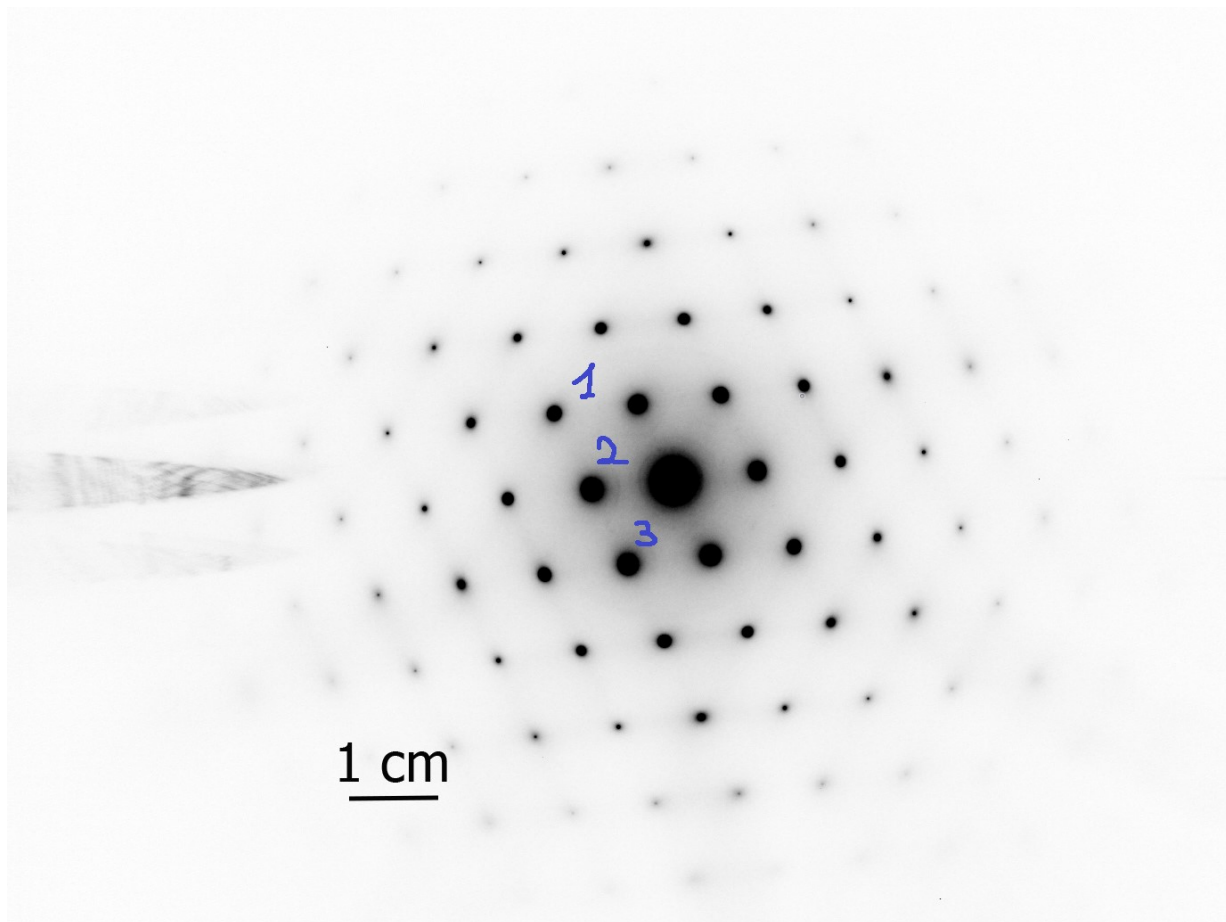


Рис. 3. Исследуемая кольцевая электронограмма

Для получения из электронограммы интересующего нас межплоскостного расстояния предлагается воспользоваться формулой, получаемой из 1:

$$d = \frac{C}{2R} = \frac{45}{2R} \quad (2)$$

Здесь R — радиус-вектор рефлекса, C — постоянная, определяемая характеристиками прибора. В нашем случае подставляем $C = 45$, в таком случае получаем d в ангстремах при условии, что R подставляем в миллиметрах. Результат измерения d можно увидеть в таблице.

Кроме того, проиндексируем три рефлекса, выделенные на электронограмме. Положим, что центральный рефлекс имеет индексы (000), тогда для индексации остальных нам необходимо определить углы между направлениями на них. Для этого воспользуемся теоремой косинусов и уже определенными нами радиус-векторами. При этом оказалось, что угол между рефлексом 1 и 2 равен 35.85° , а между рефлексом 2 и 3 — 54.78° . Полученные углы сопоставим тем, которые приведены в имеющейся таблице для определения индексов рефлексов. Полученные индексы приведены в общей таблице.

Отметим, что визуально электронограмма похожа на картину, получаемую от проекции ГЦК в направлении $[110]$ (см. рисунок 4). При этом индексы, определенные нами, с точностью до кратности совпадают с приведенными на рисунке. Из этого заключаем, что предположение о ГЦК в направлении $[110]$ верно.

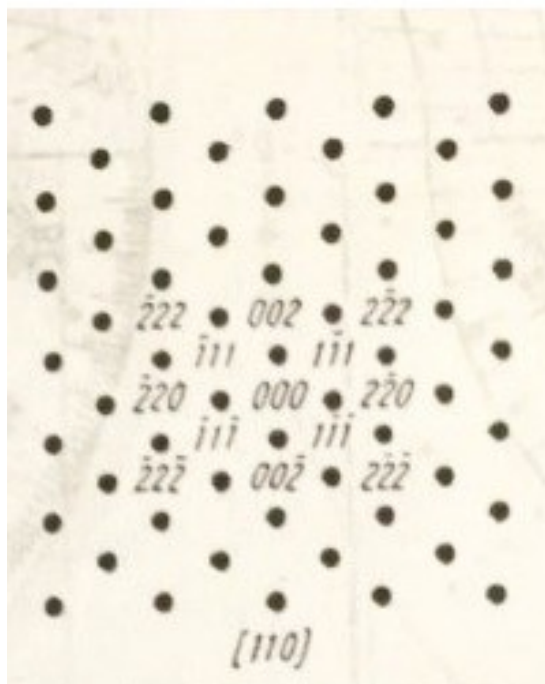


Рис. 4. ГЦК в направлении $[110]$

Наконец, имея в наличии межплоскостные расстояния и индексы, а также понимая, что мы имеем дело с ГЦК, поиском по базе данных попытаемся определить материал. Вероятными кандидатами являются Al и Ag, и я скорее склоняюсь в сторону Al.

N	R, mm	d, Å	hkl
1	15.6	1.44	110
2	9.1	2.47	111
3	11	2.05	100

Таблица 1. К расчету точечной электронограммы

3. Расчет кольцевой электронограммы

Расчет был произведен для представленной на рисунке 5 электронограммы. Промеренные радиусы колец приведены в сводной таблице, с учетом масштаба. После этого, согласно тому, что $d = 1/R$, были получены межплоскостные расстояния d , указанные в той же таблице.

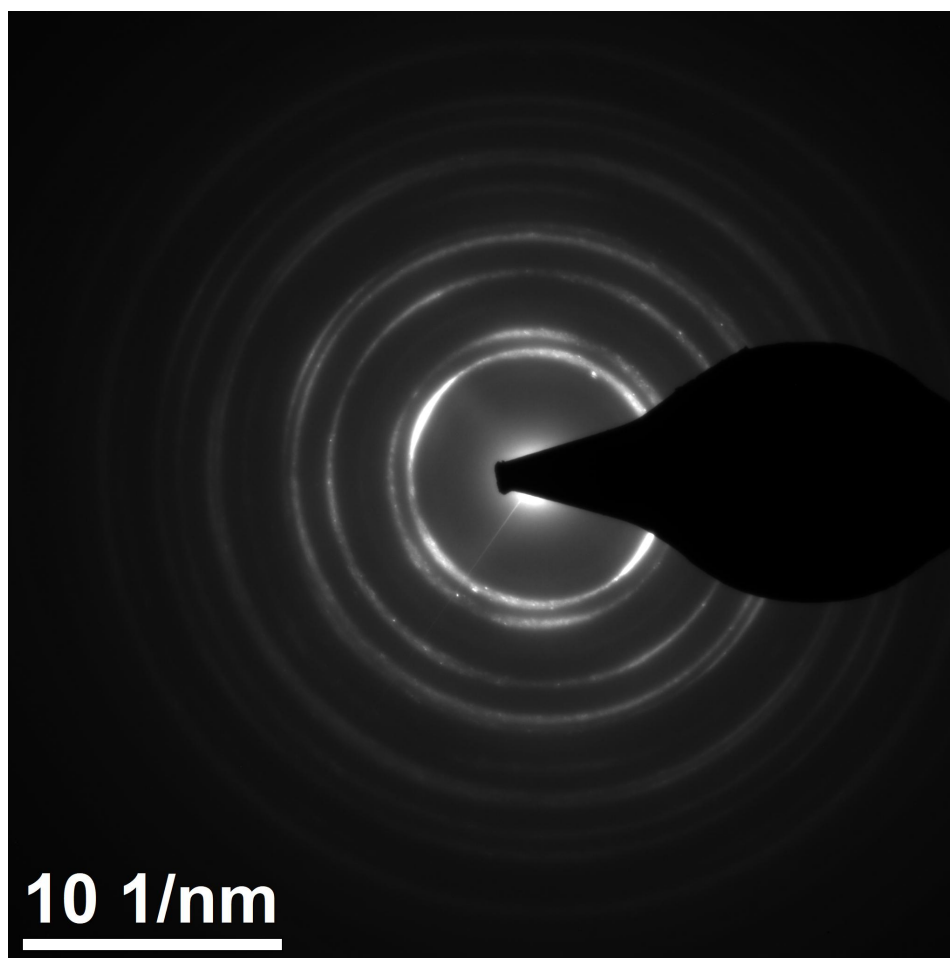


Рис. 5. Исследуемая кольцевая электронограмма

С учетом того, что в разработке есть указание искать совпадение среди таких элементов как никель, железо алюминий, была проведена сверка полученных расстояний d с имеющимися в программе Match! картотеками. По результату оказалось, что лучше всего подходит никель, его карточка для сравнения приведена на рисунке 6. Также из картотеки узнаем и интересующие нас параметр решетки ($a = 3.52 \text{ \AA}$), а также тип кристаллической решетки — кубическая гранецентрированная.

N	R, 1/nm	d, nm
1	4.93	0.203
2	5.76	0.173
3	8.11	0.123
4	9.56	0.105
5	9.99	0.100
6	11.32	0.088
7	12.55	0.080
8	12.90	0.078

Таблица 2. К расчету кольцевой электронограммы

Crystal structure							
<i>Crystallographic data</i>							
Space group	F m $\bar{3}$ m (225)						
Crystal system	cubic						
Cell parameters	a = 3.52414 Å						
Z	4						
Atom coordinates	Element	Oxid.	x	y	z	Bi	Focu
	Ni		0.000	0.000	0.000	1.000000	1.000000
Diffraction data							
<i>Diffraction lines</i>							
	d [Å]	Int.	h	k	l	Mult.	
	2.0347	1000.0	1	1	1	8	
	1.7621	447.0	2	0	0	6	
	1.2460	216.6	2	0	2	12	
	1.0626	234.4	3	1	1	24	
	1.0173	68.6	2	2	2	8	
	0.8810	42.6	4	0	0	6	
	0.8085	225.2	3	1	3	24	
	0.7880	312.6	4	0	2	24	

Рис. 6. Карточка никеля из картотеки Match!

Список литературы

- [1] Рентгendifракционные методы изучения структуры монокристаллов, поликристаллических и аморфных материалов