

А. И. АНДРИЕВСКИЙ и И. В. КУТОВЫЙ

## ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ НАБЛЮДЕНИЯ ДИФФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ГАЗОВЫХ МОЛЕКУЛ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 13 XI 1951)

При катодном распылении металлов значительная часть выбитых из катода атомов возвращается обратно на катод<sup>(1)</sup>. Таким образом, катод отделен от остальной части разрядного пространства облаком атомов, возвращающихся на катод<sup>(2)</sup>, которое, по всей видимости, должно быть незначительного сечения и локализовано вблизи катода. Выбитые атомы могут образовывать молекулярные соединения с химически активными газами окружающей среды<sup>(1)</sup>. Электроны, выходящие с поверхности катода, проходя через атомно-молекулярное облако, рассеиваются и при некоторых определенных условиях образуют диффракционную картину. Нам удалось получить и расшифровать такую диффракционную картину для меди и кадмия в атмосфере воздуха.

Исследование производилось на установке катодного распыления обычного типа при вакууме  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  мм рт. ст. при напряжении между катодом и анодом 4000—8000 в, для меди при силе тока 5—10 ма, а для кадмия 1—4 ма и экспозиции 0,5—2 мин. Катод изготовлялся в форме диска с диаметром основания 3—5 мм с хорошо плоскоотшлифованной поверхностью распыления. Все вводы катода и часть самого катода, кроме распыляемой поверхности, изолировались стеклянной и фарфоровой изоляцией. Вакуум в установке создавался ртутным диффузионным насосом с ловушкой на пути для паров ртути. Вакуумное уплотнение производилось на каучуке и пиццине.

Диффракционную картину удается наблюдать, если между катодом и стеклянной пластинкой для напыления металла расстояние порядка 1—4 см, т. е. на расстоянии в несколько раз меньшем, чем простирается катодное темное пространство. Известно, что длина катодного темного пространства находится в тесной связи с длиной свободного пробега электронов в газе<sup>(3,4)</sup>.

Электронограммой является стеклянная пластинка, на которую осаждается распыленный металл. На общем фоне распыленного металла достаточно ясно выделяются максимумы диффракционной картины в виде колец небольшой ширины, интенсивность которых меньше интенсивности общего фона напыленного металла в данном месте.

Образование диффракционной картины на распыленном металле следует отнести за счет теплового эффекта, вызванного торможением диффрагирующих электронов. Так, на электронограммах, полученных от кадмиевого катода, центральная часть в том месте, где интенсивность рассеянных электронов достигает максимума, полностью испарилась (см. рис. 2). В некоторых случаях в этой центральной части наблюдалось прожигание стеклянной пластинки насквозь.

В начальные моменты катодного распыления при использовании некоторых стеклянных пластинок наблюдалась флуоресценция их в виде дифракционных колец. По мере напыления металла явление флуоресценции ослабевает и прекращается.

Подтверждением того, что дифракция электронов получается на газовых молекулах соединения меди и кадмия с кислородом, являются проделанные нами опыты распыления меди и кадмия в атмосфере азота. В этих опытах дифракционной картины не удалось получить.

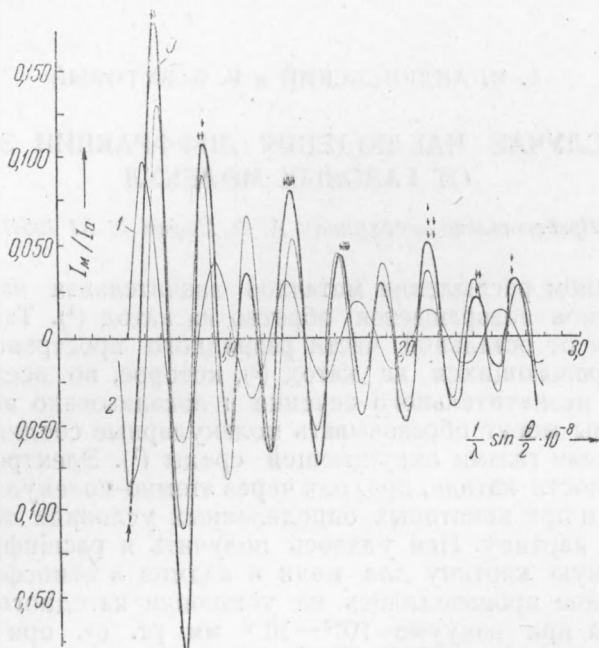


Рис. 2. Сопоставление теоретических максимумов рассеяния электронов, рассчитанных по теоретической формуле, с экспериментальными для  $\text{Cu}_2\text{O}$ . 1 и 2 — вспомогательные кривые двух синусоидальных слагаемых, 3 — суммарная кривая рассеяния. Стрелками отмечены максимумы электронограмм табл. 1

При распылении инертных металлов (платины, золота и никеля) в атмосфере воздуха дифракционной картины также не образовывалось.

На рис. 1,а (см. вклейку к стр. 312) представлена фотография контактного отпечатка электронограммы, полученной при катодном распылении меди в атмосфере воздуха при напряжении 4500 в, силе тока 6 ма и расстоянии между катодом и стеклянной пластинкой 2,1 см, а на рис. 1,б — электронограмма кадмия в атмосфере воздуха при напряжении 5500 в, силе тока 4 ма и расстоянии между катодом и стеклянной пластинкой 2,1 см.

Расшифровка электронограмм осуществлялась методом проб и ошибок по формуле интенсивности молекулярного рассеяния электронов в зависимости от угла рассеяния  $\theta$ :

$$I(\theta) = kI_0 \left\{ \sum_i \sum_j \frac{1}{s_i} (Z - F)_i (Z - F)_j \frac{\sin sr_{ij}}{sr_{ij}} + \sum \frac{S_i}{s^4} \right\},$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $I_0$  — интенсивность падающего пучка электронов;  $(Z - F)$  — атомный фактор электронного рас-

сеяния;  $S_i$  — атомное некогерентное рассеяние;  $s = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$ , где  $\lambda$  — длина электронной волны;  $r_{ij}$  — межатомное расстояние в молекуле. Некогерентным рассеянием при расчетах пренебрегали ввиду того, что оно даже при сравнительно небольших углах рассеяния практически равно нулю (5).

На основании экспериментальных данных для максимумов электронограмм меди (см. табл. 1) надо полагать, что диффракция электронов происходила на газовых молекулах  $\text{Cu}_2\text{O}$ , структурная форма — треугольная с межатомными расстояниями  $r_{ii} = 1,92 \text{ \AA}$  и  $r_{ij} = 1,22 \text{ \AA}$ , с валентным углом  $100^\circ$ .

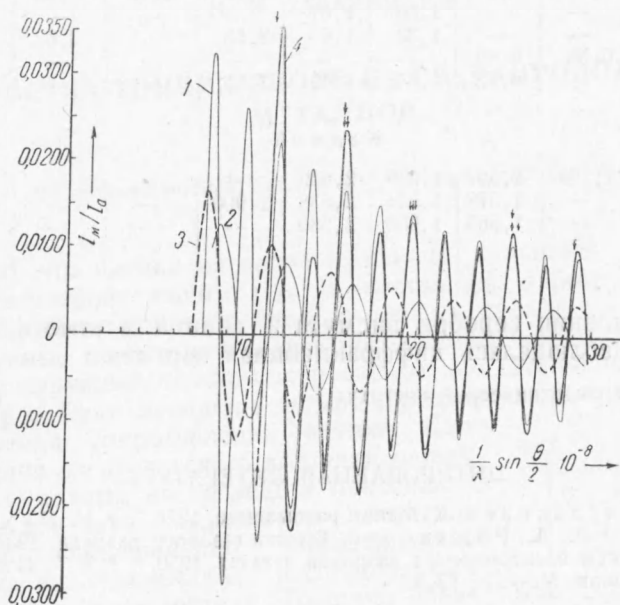


Рис. 3. Сопоставление теоретических максимумов рассеяния электронов, рассчитанных по теоретической формуле, с экспериментальными для  $\text{CdO}$  и  $\text{Cd}_2\text{O}$ . 1 и 2 — вспомогательные кривые двух синусоидальных слагаемых для  $\text{Cd}_2\text{O}$ , 3 — кривая рассеяния электронов на молекулах  $\text{CdO}$ , 4 — суммарная кривая рассеяния. Стрелками отмечены максимумы электронограмм табл. 1

Для кадмия диффракция происходила на смеси газовых молекул  $\text{Cd}_2\text{O}$  и  $\text{CdO}$ . Структурная форма  $\text{Cd}_2\text{O}$  — линейная с межатомными расстояниями  $r_{ii} = 2,60 \text{ \AA}$  и  $r_{ij} = 1,30 \text{ \AA}$ ; структурная форма  $\text{CdO}$  — линейная с межатомным расстоянием  $r_{ij} = 1,41 \text{ \AA}$ .

Сопоставление максимумов электронограмм, приведенных в табл. 1, со значениями максимумов теоретических кривых на рис. 2 и 3 (кривые относятся молекулярного рассеяния электронов к атомному в зависимости от величины  $\frac{1}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ ) показывает хорошее их совпадение.

На электронограммах, полученных при катодном распылении, достаточной ясностью обладают максимумы при больших значениях  $\frac{1}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ , поэтому надежность заключений о структуре молекул возрастает.

Значения  $\frac{1}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ 

№№ электрограмм	№№ максимумов							Напряжение в в
	1	2	3	4	5	6	7	
Медь								
132	—	—	—	1,63	2,48	2,43	—	5400
141	—	—	1,38	—	2,15	2,42	—	6000
162	0,57	0,847	1,35	1,68	2,15	2,42	2,62	4500
175	—	—	1,36	1,67	—	—	—	4800
205	—	—	1,33	1,66	2,18	—	2,62	6900
250	0,55	0,86	—	—	—	—	—	3750
255	—	0,82	1,34	1,69	2,15	—	—	7500
Кадмий								
277	1,100	1,567	1,970	2,539	—	—	—	5600
278	—	1,578	1,954	2,538	2,900	—	—	5500
281	—	1,565	1,980	2,580	—	—	—	4500

При распылении серебра, висмута и свинца в атмосфере воздуха нами также наблюдалась дифракционная картина.

Львовский политехнический институт

Поступило  
23 VII 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Ю. П. Маслаковец, Катодное распыление, 1934. <sup>2</sup> Н. Мауер, Phil. Mag., 16, 594 (1933). <sup>3</sup> Д. А. Рожанский, Физика газового разряда, 1937. <sup>4</sup> Л. Леб, Основные процессы электрических разрядов в газах, 1950. <sup>5</sup> З. Г. Пинскер, Дифракция электронов, М.—Л., 1949.