

УДК 539.121.72

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ОТРАЖЕННЫХ И ПОГЛОЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Л.В.Головяшкина, Ю.Г.Косарев, Н.Г.Маходкин

Знание характеристик пространственного распределения поглощенных и отраженных электронов имеет важное значение для многих практических областей, например, для исследования проблемы зарядки диэлектриков, записи информации электронным лучом, при изучении структуры поверхности методом сканирующей электронной микроскопии и др.

В работе [1] уже обсуждались некоторые результаты прямого моделирования неупругого рассеяния электронов средних энергий ($220 Z \text{ эв} \leq E_0 \leq 4000 Z \text{ эв}$, где Z - атомный номер мишени) и было показано хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. Это позволяет с определенным доверием отнестись ко всем результатам расчета, получаемых в рамках использованной модели.

Основная особенность полученных результатов состоит в том, что мы имели возможность исследовать распределение рассеянных электронов не только по углам возвышения (X), но и по азимутам (Y) - в областях, заключенных между плоскостями, определенными фиксированным значением Y ($Y=0^\circ \pm \Delta$, $Y=45^\circ \pm \Delta$, $Y=90^\circ \pm \Delta$, $Y=135^\circ \pm \Delta$).

Расчет выполнен для трех веществ - Be, Al, Pb - при различных значениях начальной энергии E_0 и углах падения $\theta^0 = 60^\circ$ и 80° . Погрешность метода Монте-Карло δ обратно пропорциональна \sqrt{K} , где K - число моделируемых траекторий, при этом с вероятностью $\rho = 0.95$

$$\delta = |\xi - M\xi| \leq \alpha_\rho \sqrt{D\xi},$$

где ξ - моделируемая случайная величина, имеющая почти нормальный закон распределения, $M\xi$, $D\xi$ - математическое ожидание и дисперсия ξ , $\alpha_\rho = 1.96$.

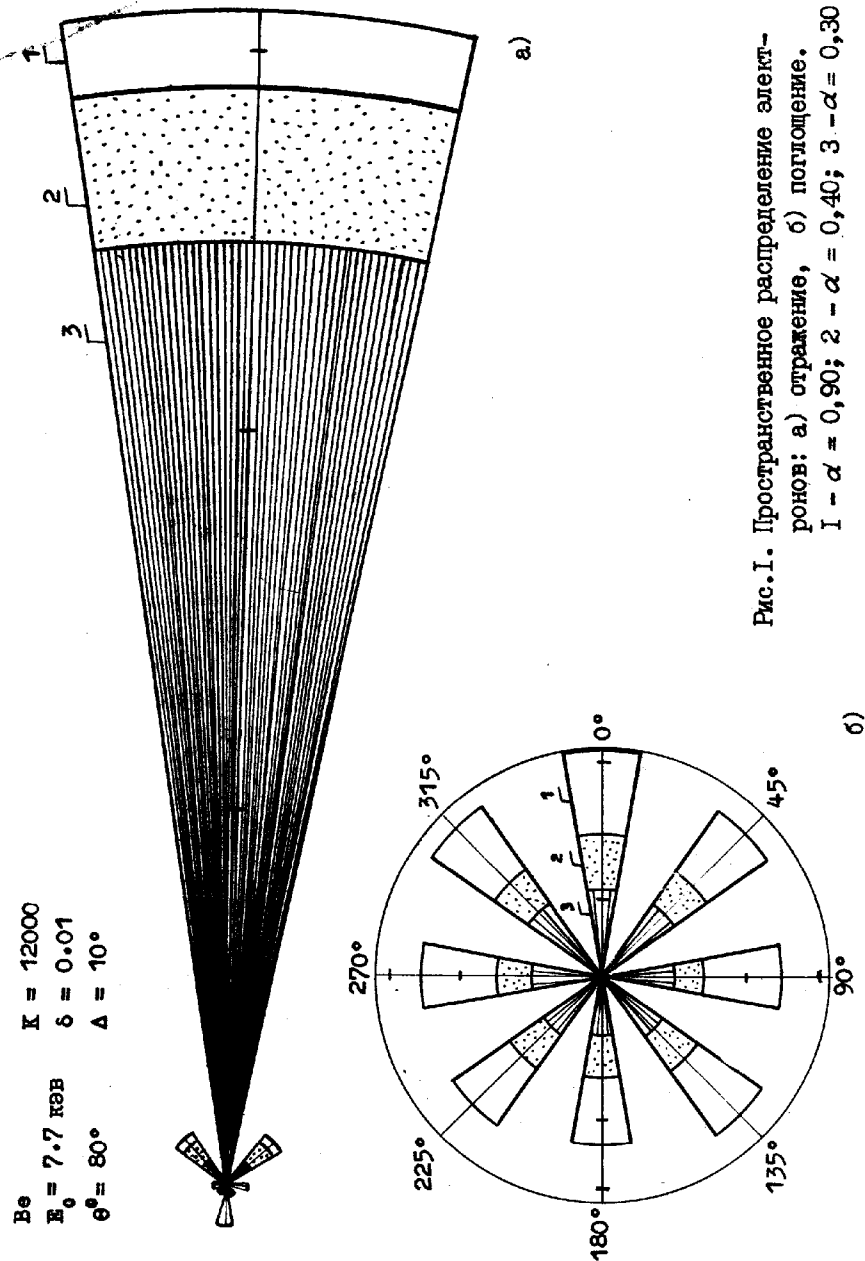
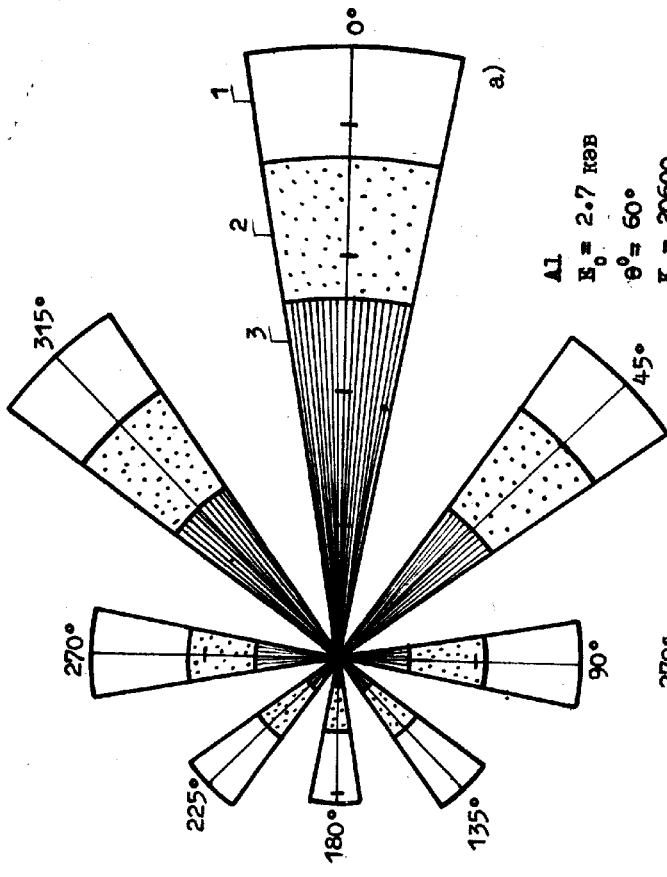


Рис.1. Пространственное распределение электронов: а) отражение, б) поглощение.
1 - $\alpha = 0,90$; 2 - $\alpha = 0,40$; 3 - $\alpha = 0,30$



Al
 $E_0 = 2.7$ кэВ
 $\theta^0 = 60^\circ$
 $K = 20600$
 $\delta = 0.004$
 $\Delta = 10^\circ$

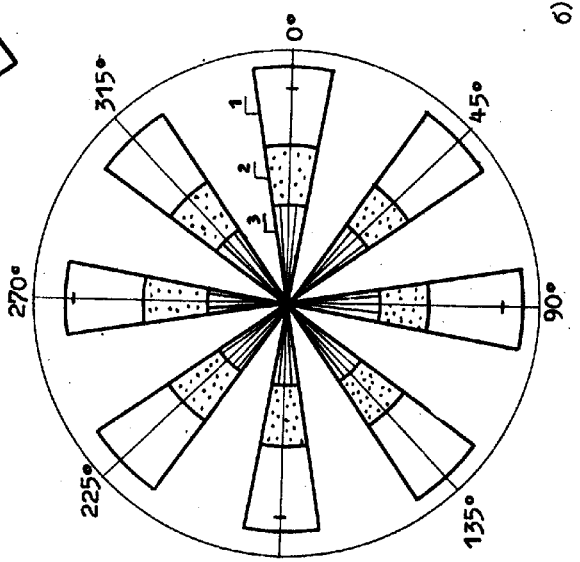
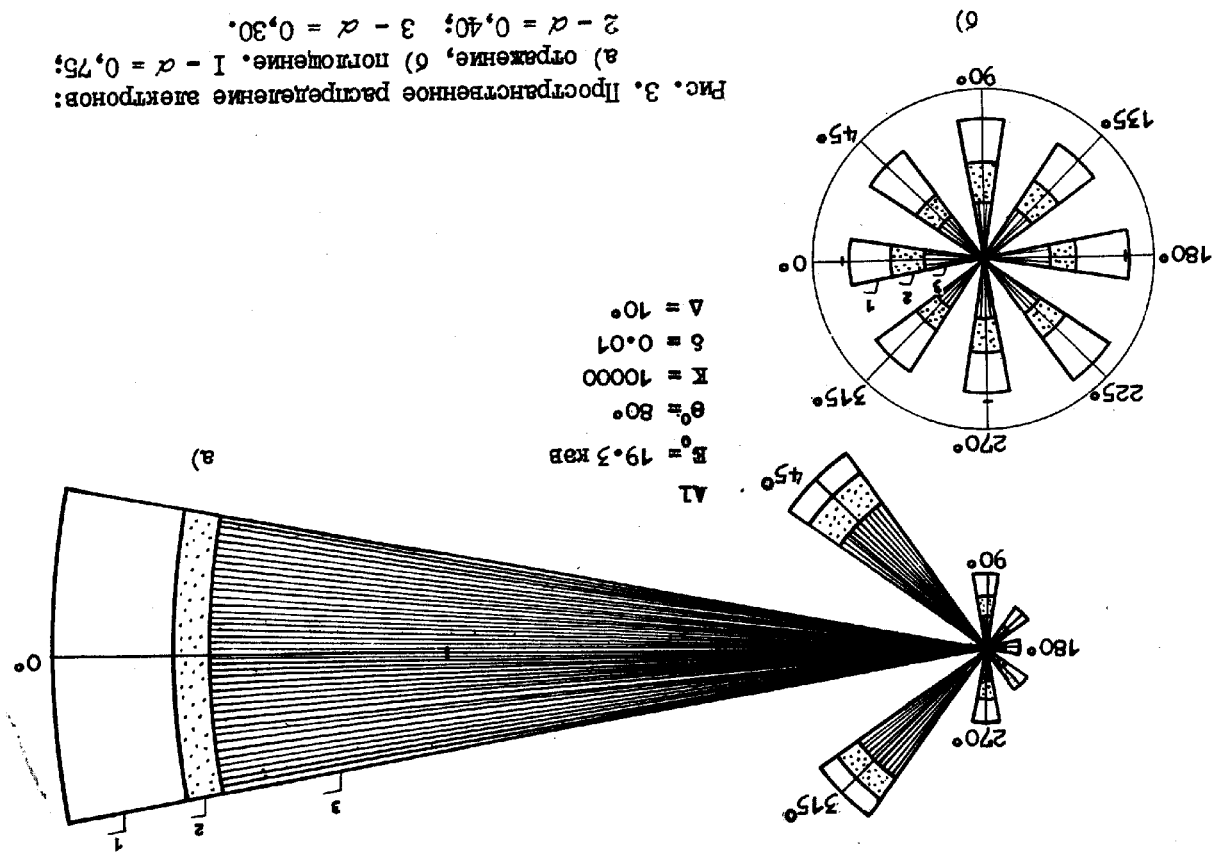


Рис. 2. Пространственное распределение электронов: а) отражение, б) поглощение.
 1 - $\alpha = 0,75$;
 2 - $\alpha = 0,40$;
 3 - $\alpha = 0,30$.



Al
 $E_0 = 19.3$ кэВ
 $\theta^0 = 80^\circ$
 $K = 10000$
 $\delta = 0.01$
 $\Delta = 10^\circ$

Рис. 3. Пространственное распределение электронов: а) отражение, б) поглощение. 1 - $\alpha = 0,75$;
 2 - $\alpha = 0,40$;
 3 - $\alpha = 0,30$.

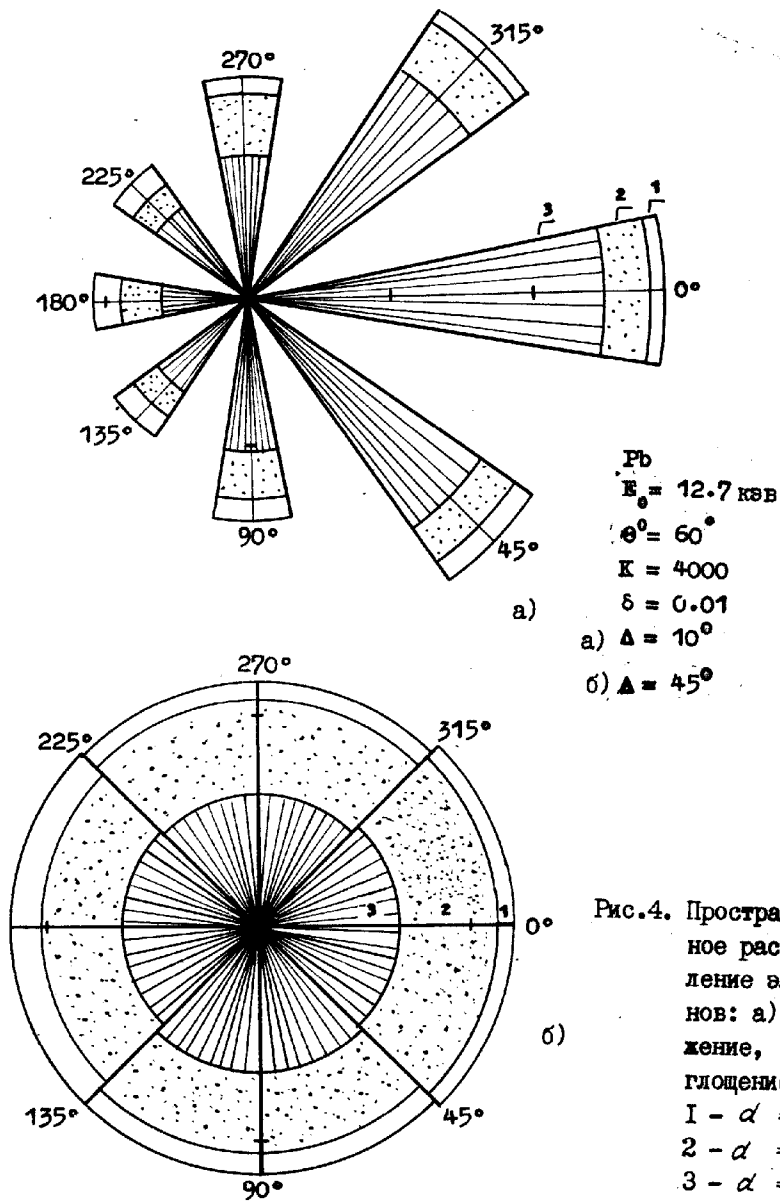


Рис.4. Пространственное распределение электронов: а) отражение, б) поглощение.

Отражение. В соответствии с экспериментом [2] в плоскости падения наибольшее число отраженных электронов расположено вблизи направления зеркального отражения (рис. 1а-4а). Относительное количество отраженных "вперед" электронов n_1/n (где n - число электронов, отраженных в области $\psi = 0^\circ \pm \Delta$, n - общее число отраженных электронов) с увеличением атомного номера Z уменьшается. Для алюминия значение n_1/n с ростом E_0 от 2.7 кэВ до 19.3 кэВ возрастает приблизительно в 3 раза (рис. 2а-3а).

Расчетные данные о пространственном распределении отраженных электронов, полученные регистрацией декартовых координат (x, y) в момент отражения, содержится в [3].

Поглощение. Для поглощенных электронов расчет обнаруживает почти равномерное пространственное распределение вокруг оси OZ даже при наклонных углах падения $\theta^0 = 60^\circ - 80^\circ$ (рис. 1б - 4б). Следует заметить, что для Be в направлении падения пучка ("вперед") поглощается несколько больше электронов, чем в обратном направлении ("назад") (рис. 1б). Это объясняется, по-видимому, тем, что при $\theta^0 = 80^\circ$ среднее число соударений, испытываемых электронами в мишени Be , невелико ≈ 124 [1] и электроны не успевают полностью "забыть" направление своего падения. Когда число соударений в мишени возрастает (Al, Pb), равномерность в распределении поглощенных электронов наступает при толщинах, равных глубине полной диффузии (рис. 2б - 4б).

Л и т е р а т у р а

- ГОЛОВЯШКИНА Л.В., НАХОДКИН Н.Г. Прямое моделирование неупругого рассеяния электронов. - "Вычислительные системы", 1972, вып. 52, с. 5-20.
- KANTER H. Ruckstreuung von Elektronen im Energiebereich von 10 bis 100 keV. - "Ann. der Phys.", 1957, Bd. 20, S. 144.
- SHIMIZU R., IKUTA T., MURATA K. The Monte Carlo technique as applied to the fundamentals of EPMA and SEM. - "J. Appl. Phys.", 1972, vol. 43, N 10, p. 4233-4249.

Поступила в ред.-изд. отд
25 июня 1973 года