

ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Авторы: В. В. Кораблёв

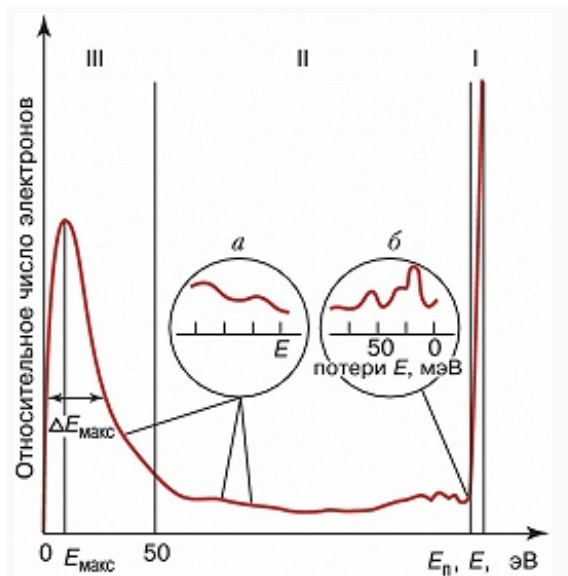


Рис. А. В. Щербакова

Рис. 1. Энергетический спектр вторичных электронов: (I) упруго отражённых, (II) неупруго отражённых, (III) истинно вторичных; тонкая структура спектров, обусловленная (а) оже-электронами и (б) характе...

ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ, испускание электронов (вторичных) твёрдыми или жидкими телами (эмиттерами) при бомбардировке их электронами (первичными). Для тонких эмиттеров длина пробега первичных электронов может превышать толщину эмиттера. В этом случае В. э. э. наблюдается как с бомбардируемой поверхности (В. э. э. на отражение), так и с противоположной стороны эмиттера (В. э. э. на прострел). Поток вторичных электронов состоит из упруго и неупруго отражённых первичных электронов и истинно вторичных электронов – электронов эмиттера, получивших в результате их возбуждения первичными или отражёнными неупруго электронами энергию и импульс, достаточные для выхода из эмиттера. Энергетич. спектр вторичных электронов лежит в диапазоне энергий от

$E = 0$ до энергии первичных электронов

E_p (рис. 1). Тонкая структура энергетич. спектра обусловлена оже-эффектом и характеристическими потерями энергии на возбуждение атомов эмиттера.

Количественно В. э. э. характеризуется коэффициентом

σ , равным:

$$\sigma = I_2/I_1 = \delta + \eta + r, \text{ где}$$

I_1 и

I_2 – токи, создаваемые первичными и вторичными электронами;

δ – коэф. истинной В. э. э.;

η, r – коэффициенты соответственно неупругого и упругого отражения первичных электронов. Указанные коэффициенты зависят от параметров пучка первичных электронов (

E_p , угла падения

ϕ пучка на образец) и характеристик эмиттера (элементного состава, электронного строения, кристаллич. структуры, состояния поверхности и др.).

Механизмы упругого отражения электронов различны в областях малых (0-100 эВ), средних (0,1-1 кэВ) и больших (1-100 кэВ) энергий

E_p . В области малых

E_p упругое отражение зависит от электронного строения приповерхностной области эмиттера, рассеяния электронов на отдельных атомах, резонансного упругого рассеяния электронов вблизи порогов коллективных и одночастичных возбуждений электронов твёрдого тела. Абсолютные значения коэф.

r в этой области максимальны (при

$$E_p \leq 10 \text{ эВ}$$

r может достигать величины 0,5 для металлов и 0,7-0,8 для диэлектриков). В области средних

E_p в большинстве случаев на зависимости

$r(E_p)$ наблюдается широкий максимум при значениях

$E_p = Z^{2/8}$ (Z – атомный номер вещества эмиттера). Механизм упругого отражения в этом диапазоне

E_p в значит. мере определяется упругим рассеянием электронов на атомах твёрдого тела; абсолютные значения

r не превышают 0,05. Для монокристаллов зависимость

$r(E_p)$ в области средних

E_p имеет ярко выраженную тонкую структуру, обусловленную дифракцией

электронов на кристаллической решётке эмиттера. В диапазоне больших значений

E_p уменьшается с ростом

E_p . Глубина выхода упруго отражённых электронов зависит от

E_p и изменяется от долей до десятков нм&

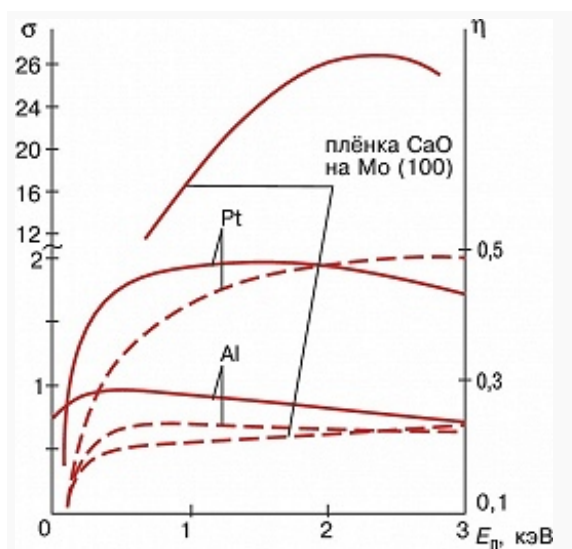


Рис. А. В. Щербакова

Рис. 2. Зависимость коэффициента вторичной электронной эмиссии σ (сплошные кривые) и коэффициента неупругого отражения η (штриховые кривые) от энергии E_p первичных электронов для различных в...

Неупругое отражение электронов

определяется рассеянием и торможением первичных электронов при их движении в веществе эмиттера. Зависимость

$\eta(E_p)$ различна для лёгких и тяжёлых веществ (рис. 2). Коэф.

η увеличивается с ростом

ϕ ; наиболее ярко эта закономерность

выражена для веществ с малыми

Z . Ср. энергия неупруго отражённых электронов

$E_H = 0,31 E_p$ и падает с уменьшением

E_p , а их ср. глубина выхода не превышает

половины глубины проникновения первичных электронов при данном значении

E_p .

Эмиссия истинно вторичных электронов

зависит от электронного строения эмиттера,

существенно влияющего на потери энергии

электронов и их выход из эмиттера. Вероятность выхода возбуждённых истинно

вторичных электронов зависит от высоты потенциального барьера на поверхности

эмиттера, определяемого величиной работы выхода электронов. В металлах

вследствие взаимодействия с электронами проводимости истинно вторичные

электроны теряют много энергии и не могут преодолеть потенциальный барьер на

поверхности. Для них характерна небольшая глубина выхода

d истинно вторичных электронов и сравнительно малые значения коэф.

$\sigma_{\text{макс}}(0,4 - 1,8)$. В диэлектриках с широкой запрещённой зоной и малым сродством к

электрону внутренние истинно вторичные электроны несут малые потери энергии,

т. к. теряют её в осн. только на взаимодействие с фотонами. Эти вещества имеют большие значения

$d(20 - 120 \text{ н м})$ и коэф.

$\sigma_{\text{макс}}(4 - 40)$. Наибольшие значения

$d(20 - 1500 \text{ нм})$ и

$\sigma_{\text{макс}} \geq 1000$ имеют эмиттеры с отрицательным сродством к электрону. Создание сильного электрич. поля (10^7 - 10^8 В/м) в диэлектриках вызывает увеличение $\sigma_{\text{макс}}$ до 100 (В. э. э., усиленная полем).

В. э. э. широко используется в методах диагностики поверхности твёрдых тел.

Сканирующая электронная микроскопия, используя разл. группы вторичных электронов для визуализации исследуемого объекта, позволяет исследовать топографию, фазовый состав, кристаллич. структуру и др. свойства поверхности. Оже-электроны несут информацию об элементном составе, химич. состоянии поверхностных атомов.

Спектры электронов с характеристич. потерями энергии (в диапазоне единицы—сотни мэВ) дают информацию о фоновых колебаниях в твёрдых телах, характеризуют колебательные моды адсорбированных атомов и молекул. Электроны с большими потерями энергии (обусловленными межзонными переходами, возбуждением плазменных колебаний в твёрдых телах и ионизацией атомов вещества эмиттера) используются для получения информации об элементном составе и электронном строении приповерхностной области эмиттеров.

В. э. э. применяется для усиления электронных потоков в электронно-вакуумных приборах (вторичные и фотоэлектронные умножители, усилители яркости изображения и т. п.). В. э. э. играет важную роль в работе ряда высокочастотных приборов.

Литература

Лит.: Бронштейн И. М., Фрайман Б. С. Вторичная электронная эмиссия. М., 1969; Шульман А. Р., Фридрихов С. А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. М., 1977.

