



Балтийский
федеральный университет
имени Иммануила Канта

Институт физико-математических наук и
информационных технологий

Ожэ-электронная спектроскопия

Выполнил-студент 1к, магистр

инфокоммуникационные

технологии и системы связи

Нестерова Ж.Ю.

Преподаватель-доцент Карпинская Т.

А.



Оже-электронная спектроскопия, историческая справка

Метод оже-электронной спектроскопии (Auger Electron Spectroscopy) основан на оже-эффекте, названном в честь французского физика Пьера Оже (Pierre Auger), обнаружившего данный эффект в 1925 г. Метод идентификации поверхностных примесей, основанный на регистрации возбуждаемых электронным пучком оже-электронов, был предложен в 1953 г. С 1968 г. для повышения чувствительности данного метода стали использовать дифференциальные оже-электронные спектры.



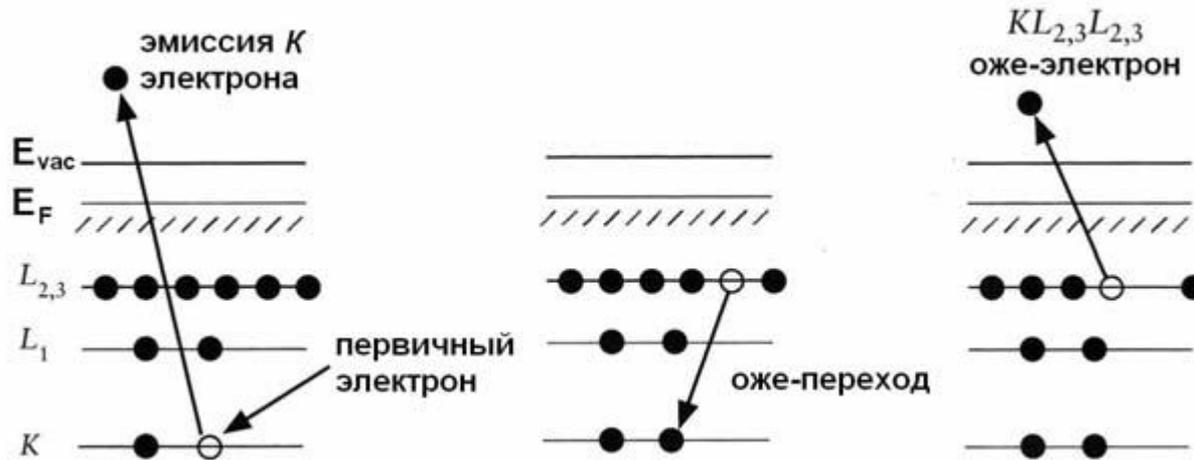
Отличительными особенностями метода ОЭС являются:

- - поверхностная чувствительность метода;
- - чувствительность к химическому состоянию элементов;
- - возможность сканирования образца сфокусированным электронным пучком, позволяющая получать карту распределения элементов по поверхности образца (орже-электронная микроскопия) с субмикронным разрешением
- использование анализаторов электронов типа цилиндрического зеркала, обладающих большей чувствительностью по сравнению с другими типами анализаторов.

Физические основы ОЭС

- В основе методики ОЭС лежат следующие процессы:
- 1) ионизация основных электронных уровней первичным электронным пучком с энергией E_p и интенсивностью I_p (так называемым электронным ударом);
- 2) оже-рекомбинация (т.е. безызлучательный, jkl оже-переход);
- 3) эмиссия оже-электрона с кинетической энергией KE_{jkl} ;
- 4) регистрация энергетического спектра оже-электронов, покинувших образец.

Схематически последовательность данных процессов



- Для ионизации основного уровня с энергией связи $j BE$ необходимо
- выполнение энергетического условия $p j E \geq BE$. В принципе,
- для оже-перехода не важно, каким образом происходит ионизация
- основного уровня. Поэтому, в соответствии со способом ионизации
- различают оже-электронную спектроскопию (ионизация электрон-
- ным пучком), возбуждаемую рентгеновским излучением оже-
- спектроскопию (фотоионизация), ионную оже-
- спектроскопию (ионизация ионным пучком).

Преимущества использования электронного пучка:

- 1) простота получения электронного пучка нужной энергии $\sim 1.5 \div 5.0$ p E кэВ и интенсивностью $\sim 1 \div 100$ μA p I ;
- 2) возможность фокусировки электронного пучка (до единиц микрон) и сканирования им поверхности образца, позволяющая по-
- лучать информацию о локальном элементном составе образца (оже-электронная микроскопия).

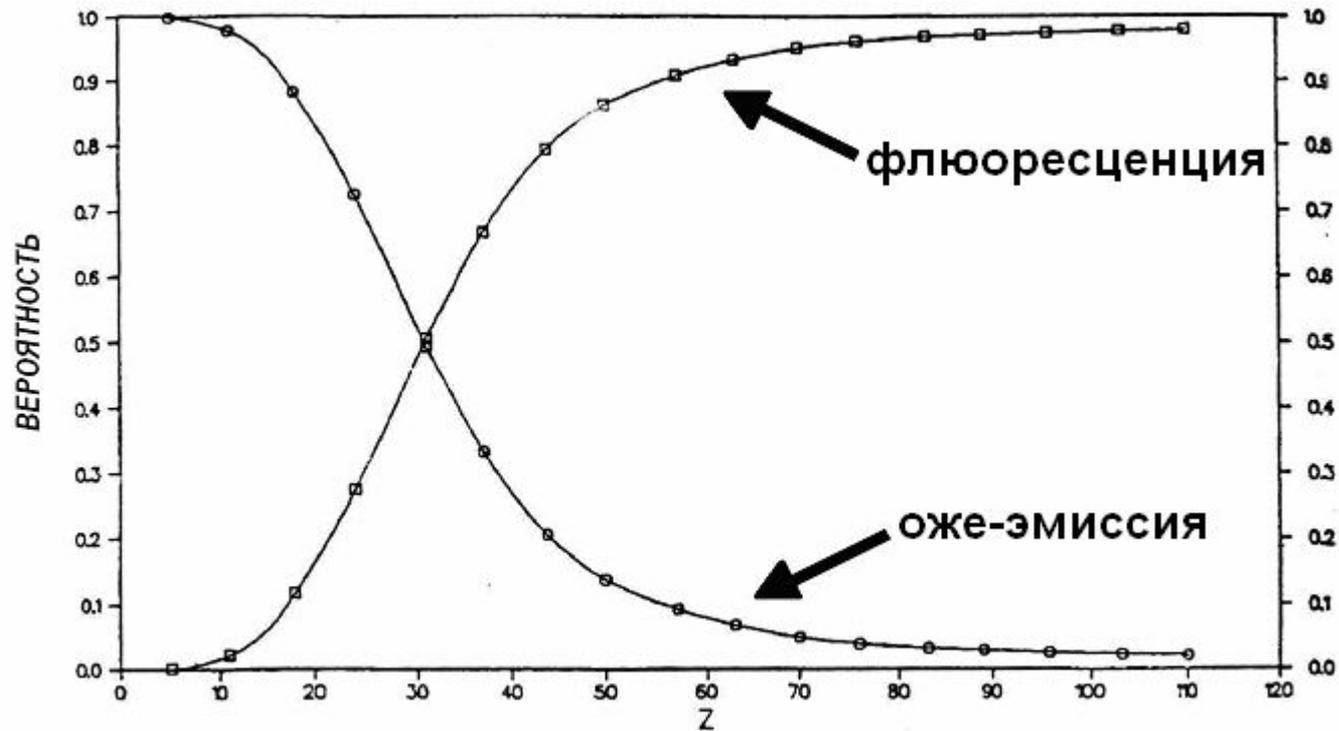
Излучательная рекомбинация

- преобладает при энергии ионизации (энергии связи) $BE_j > 10 \text{ кэВ}$.
- При этом энергия эмитированного рентгеновского излучения составляет единицы и десятки килоэлектронвольт, а глубина выхода –
- единицы микрон. Таким образом, хотя положение линий характеристического рентгеновского излучения однозначно определяется
- элементным составом образца, рентгеновская эмиссионная спек-
- троскопия (или рентгеновский микроанализ) не является поверхно-
- стным методом, поскольку дает информацию об интегральном эле-
- ментном составе поверхностных слоев образца толщиной в едини-
- цы микрон.

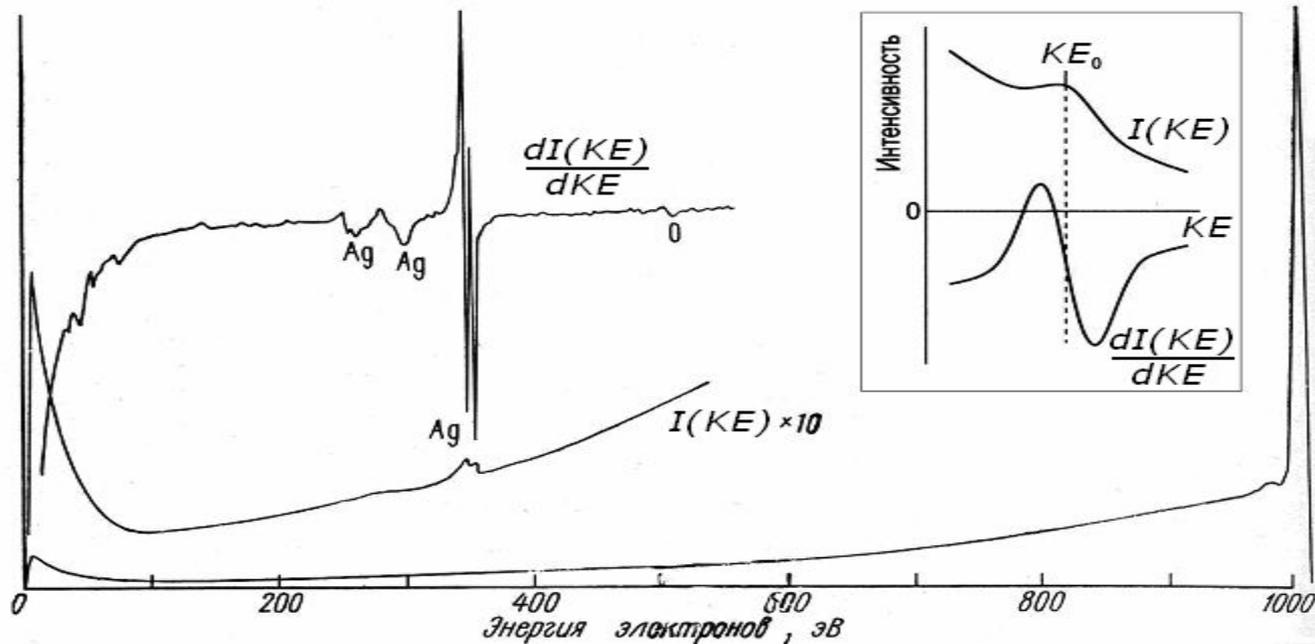
Безызлучательная или оже-рекомбинация

- для уровней с $BE_j < 10$ кэВ. При этом кинетическая энергия оже-электронов составляет $KE_{jkl} \sim 1$ кэВ, а их длина пробега в материале образца – единицы нанометров.
- Таким образом,
- **ОЭС является поверхностной методикой.**

На рис.3.3 представлена зависимость вероятностей излучательной и безызлучательной рекомбинации от атомного номера элемента Z для K -оболочки



Общий вид электронного спектра в ОЭС



Обзорный оже-электронный спектр серебра в интегральном $I(E)$ и дифференциальном $dI(E)/dE$ виде. На вставке показан спектр отдельной линии оже-электронов в интегральном и дифференциальном виде

Расчет кинетической энергии оже-электрона

- 1. В самом грубом приближении величину KE_{jkl} в соответствии с законом сохранения энергии можно представить как разность энергий связи уровней, участвующих в переходе: $KE_{jkl} = BE_j - BE_k - BE_l - \phi$
- 2. Учет изменения значений BE_{kl} , в присутствии дырки на j и k уровнях, соответственно, для CVV оже-переходов можно провести в **приближении эквивалентных остовов**. В рамках данного приближения полагают, что для внешних электронных оболочек появление глубокой основной дырки эквивалентно увеличению на еди-

$$Z \quad Z \quad Z+1 \quad Z+1$$

- ницу заряда ядра. $KE_{jkl} = BE_j - BE_k - BE_l - \phi$

- 3. Другой вариант учета того же эффекта был предложен Чангом и Дженкинсом (M.F. Chung, L.H. Jenkins) для оже-переходов с эквивалентными уровнями k и l :
 - $KE = BE_J - 1/2(BE_K + BE_{\bar{K}}) - 1/2(BE_L + BE_{\bar{L}}) - \phi$
- 4. Учет взаимодействия двух дырок в конечном состоянии приводит к более корректному выражению для кинетической энергии оже-электрона:

- $K_{JKL} = BE_J - BE_K (j \uparrow) - BE_L (k \uparrow) - F(k,l) - \phi$
- $KE_{JKL} = \varepsilon_j - R_j - \varepsilon_k - \varepsilon_l + R_{k,j} - F(k,l) - \phi$
- $KE_{JKL} = BE_J - BE_K - BE_L + \Delta R - F(k,l) - \phi$
- Расчетные значения энергий ΔR и $F(k,l)$ для трех переходов металлов 3d-ряда приведены в таблице.
- Видно, что вклад разности $\Delta R - F(k,l)$ в кинетическую энергию оже-электрона составляет $\leq 1\%$.

- Значения кинетической энергии оже-электронов KE , *разницы энергии релаксации двухдырочного и*
- *однодырочных состояний ΔR , энергии взаи-*
- *модействия двух дырок F , а также абсолютное и*
- *Относительное значение величины $\Delta R - F$, рассчитанные для L_3VV оже-перехода в Ni, Cu и Zn*

Элемент	$KE (L_3VV), \text{эВ}$	$\Delta R, \text{эВ}$	$F, \text{эВ}$	$\Delta R - F, \text{эВ}$	Вклад $\Delta R - F$ в $KE, \%$
Ni	846	28.1	26.6	1.5	0.2
Cu	919	21.6	26.3	-4.7	0.5
Zn	992	21.9	29.4	-7.5	0.8

Спасибо.