

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/135TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/135TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/135TVN216>)

Статья опубликована 16.05.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Любов С.К., Любова Т.С. Внешнее возбуждение радиационной электронной эмиссии для исследования материалов промышленного теплоэнергетического оборудования // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/135TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
DOI: 10.15862/135TVN216

УДК 537.533

Любов Сергей Константинович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск¹
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Кандидат физико-математических наук
E-mail: sergeylyubov@yandex.ru

Любова Татьяна Степановна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Кандидат физико-математических наук
E-mail: lubovats@yandex.ru

Внешнее возбуждение радиационной электронной эмиссии для исследования материалов промышленного теплоэнергетического оборудования

Аннотация. Радиационная электронная эмиссия - динамически равновесная с процессом возбуждения эмиссия электронов в элеткронвольтовом диапазоне энергий под воздействием радиактивного излучения. Энергетическое распределение электронов имеет резковыраженный максимум в околонулевой области энергий. До настоящего времени исследование таких электронов проводились на электростатических призмных электронных спектрометрах, где эмиттером служили образцы, содержащие в своем объеме радиоактивные атомы. Характеристики эмиссии (положение максимума энергетического распределения и естественная ширина распределения на половине высоты) оказались очень чувствительны к слабым электрическим полям и температуре эмиттера в доричардсоновском диапазоне температур.

В статье приводятся экспериментальные результаты, позволяющие однозначно ответить на вопрос: необходимо ли для возбуждения эмиссии наличие радиоактивных атомов или достаточно облучать нерадиоактивный образец внешним ионизирующим излучением. Оказалось, что возбуждение поверхности образца внешним ионизирующим излучением также вызывает эмиссию элетронов в элеткронвольтовом диапазоне энергий.

¹ 214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

Для установления степени тождественности эмиссии при различных способах возбуждения выполнены измерения энергетического спектра электронов и выяснен характер поведения параметров эмиссии от слабых электрических полей и температуры образца в диапазоне температур от -30 до 300.

Энергетические характеристики эмиссии при внешнем возбуждении полностью идентичны характеристикам радиационной электронной эмиссии и, кроме того, поведение характеристик от слабых электрических полей и температуры эмиттера также подтверждают тождественность обоих видов эмиссии, оба вида эмиссии имеют одну и ту же природу и ответственной за эмиссию в обоих случаях является одна и та же слабо связанная с решеткой твердого тела электронная система его поверхности.

Ключевые слова: радиационная электронная эмиссия; спектрометр; эмиттер; энергетическое распределение; эмиссионный центр; естественная полуширина; разрешение спектрометра; радиоактивное излучение; электронвольтовый; тантал

Радиационная электронная эмиссия (РЭЭ) – это динамически равновесная с процессом возбуждения эмиссия электронов в электронвольтовом диапазоне энергий с поверхности тел под воздействием радиоактивного излучения. До настоящего времени исследования общих закономерностей этого эмиссионного явления проводились на образцах, содержащих радиоактивные атомы в своем объеме в виде небольшой примеси [1-5], на электростатических призмных электронных спектрометрах [6-8].

Одним из принципиальных вопросов, касающихся как природы РЭЭ, так и методики ее исследований, является вопрос: необходимо ли для возбуждения эмиссии присутствие радиоактивных атомов в самом эмиттирующем поверхностном слое вещества, либо достаточно облучения этого слоя только внешними ионизирующим излучением. Если эмиссия наблюдается и с нерадиоактивного образца при его внешнем облучении, то представляется интересным выяснить ее характерные закономерности и определить степень тождественности эмиссий, возбуждаемых внешним и внутренним излучениями.

Приведенные в настоящем сообщении результаты получены на электростатическом призмном электронном спектрометре [7]. В качестве нерадиоактивного эмиттера электронов использовалась танталовая фольга толщиной 0,03 мм. Для сравнения параметров эмиссии при ее возбуждении внешним ионизирующим излучением с результатами работ [9, 10] внешним облучателем служил радиоактивный ^{182}Ta , что позволило исключить возможное влияние спектрального состава первичного радиоактивного излучения на параметры эмиссии. Кроме того, эмиттер изготовлялся из той же самой танталовой ленты, что и в [9, 10]. Это до некоторой степени позволило исключить возможное влияние предыстории используемого материала на параметры эмиссии. Методика спектральных измерений и экспериментальные условия, в которых они проводились, в основном остались такими же, как и в [9, 10].

Эмиттер размещался в блоке ускоряющего элемента спектрометра [11]. Схема компоновки эмиттера показана на рис. 1.

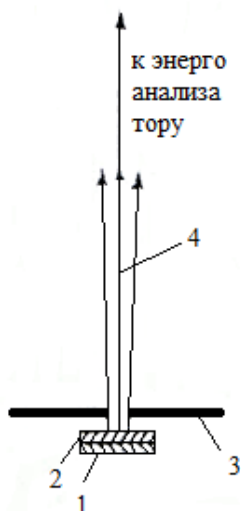


Рисунок 1. Схематическая компоновка образца – эмиттера РЭЭ при облучении радиацией извне; 1 – танталовая фольга с примесью радиоактивного изотопа ^{182}Ta ($T_{a1/2} \approx 115$ сут), 2 – танталовая фольга, не содержащая радиоактивного изотопа, 3 – диафрагма, 4 – пучок электронов РЭЭ (рис. авт.)

Он монтировался в виде «сэндвича», сложенного из обычной, нерадиоактивной танталовой фольги и такой же радиоактивной фольги 1, содержащей радиоизотоп ^{182}Ta . Обращенная к энергоанализатору исследуемая поверхность обычного образца облучалась таким образом «на прострел» радиацией, исходящей от радиоактивной фольги.

Первые же опыты показали, что возбуждение поверхности нерадиоактивного образца внешним ионизирующим излучением также вызывает эмиссию электронов в электровольтовом энергетическом диапазоне.

Типичное энергетическое распределение таких электронов приведено на рис. 2а. Здесь по оси абсцисс отложена энергия эмиттируемых электронов. При этом на верхней шкале отложена энергия электронов $E_{\text{сп}}$, регистрируемая спектрометром, а на нижней – соответственная энергия электронов E при их вылете из эмиттера. Взаимосвязь между ними, как и раньше дается выражением:

$$E = E_{\text{сп}} - e \cdot U_0, \quad (1)$$

где: e – заряд электрона, U_0 – величина предускоряющего напряжения, приложенного между образцом и входной диафрагмой энергоанализатора. Для представленной на рис. 2 линии полная ее относительная полуширина $\frac{\Delta E_{\text{л}}}{E_{\text{сп}}} = 0,275 \cdot 10^{-2}$, что при разрешении прибора $0,040 \cdot 10^{-2}$ и $U_0 = 900$ В дает значение естественной полуширины $\Gamma = 2,1$ эВ.

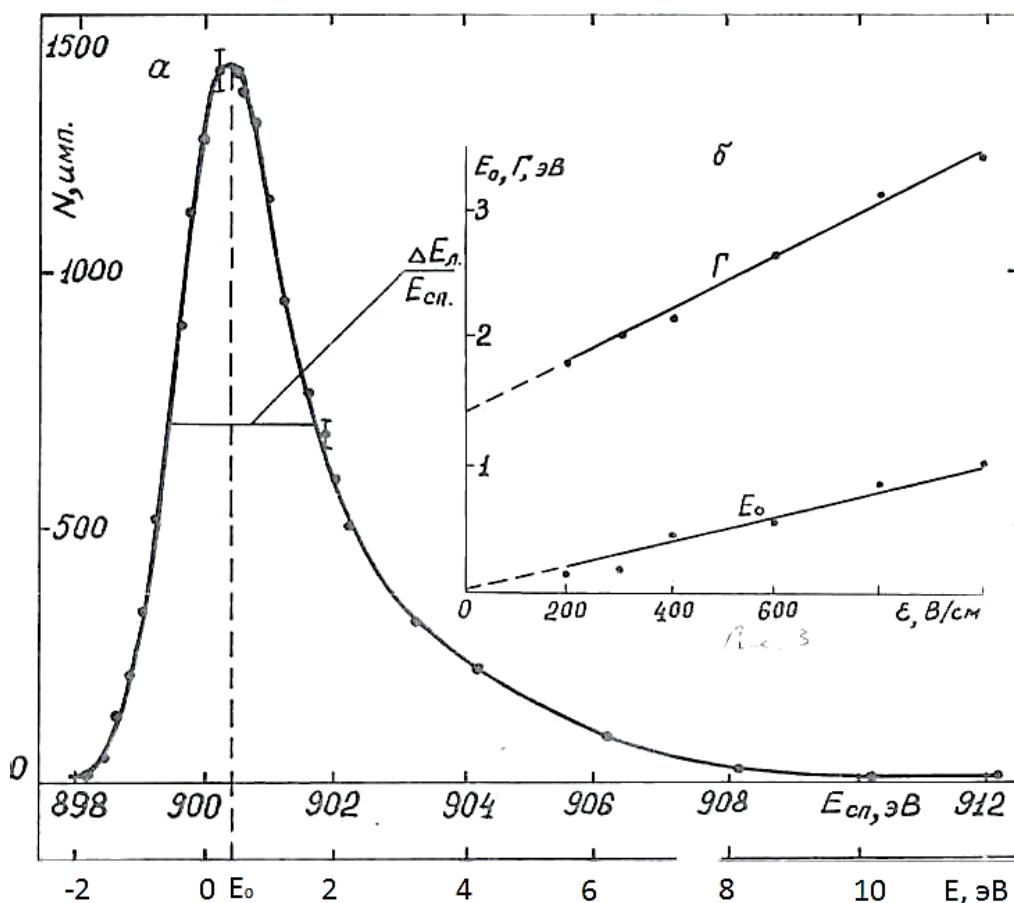


Рисунок 2. а – Типичное энергетическое распределение электронов при внешнем возбуждении эмиссии. Линия снята при температуре $T = 20^\circ\text{C}$. Величина предусоряющего напряжения $U_0 = 900$ В; напряженность электрического поля у поверхности эмиттера $\epsilon = 400$ В/см. E_0 – собственная энергия электронов в максимуме энергетического распределения. б – Зависимости E_0 и Γ от величины электрического поля у поверхности эмиттера (рис. авт).

Сравнивая приведенную спектральную линию с энергетическим распределением электронов в [9], видно, что их можно охарактеризовать рядом общих признаков. Во-первых, они имеют похожую форму с характерным высокоэнергетическим «хвостом» и крутым передним краем; во-вторых, энергии тех и других электронов заключены в одном энергетическом диапазоне; в-третьих, значения естественной полуширины Γ обоих распределений близки друг к другу. Таким образом, уже энергетические характеристики РЭЭ и эмиссии при внешнем возбуждении позволяют высказать предположение об общности природы этих явлений.

Подтверждением этому служат и результаты исследований поведения параметров эмиссии под влиянием слабых внешних воздействий на образец. На рис. 2б приведены зависимости E_0 и Γ от величины внешнего электрического поля ϵ у поверхности эмиттера, полученные при температуре $T = 20^\circ\text{C}$. Видно, что как E_0 , так и Γ возрастают с напряженностью электрического поля примерно по линейному закону, что является характерным для РЭЭ [2]. Такое поведение E_0 и Γ от слабых электрических полей указывает на то, что электроны, эмиттирующие при внешнем возбуждении образца, так же, как и электроны РЭЭ, испускаются электронной системой поверхности твердого тела, слабо связанной с его решеткой.

О поверхностной природе эмиссионных центров свидетельствует и поведение параметров эмиссии от температуры. Исследования показали, что зависимости интенсивности эмиссии и естественной полуширины распределения от температуры имеют такой же характер, как и соответствующие зависимости для РЭЭ. Так, рис. 3 иллюстрирует связь интенсивности I с температурой T эмиттера.

Экспериментальные точки и проведенные по ним сплошные кривые 1 и 2 относятся к эмиссии электронов при ее возбуждении внешним ионизирующим излучением. Здесь же представлены заимствованные из [10] аналогичные кривые для радиоактивного эмиттера. Эти кривые 1' и 2' изображены штриховыми линиями. Стрелки около кривых показывают последовательность изменения температуры в серии измерений.

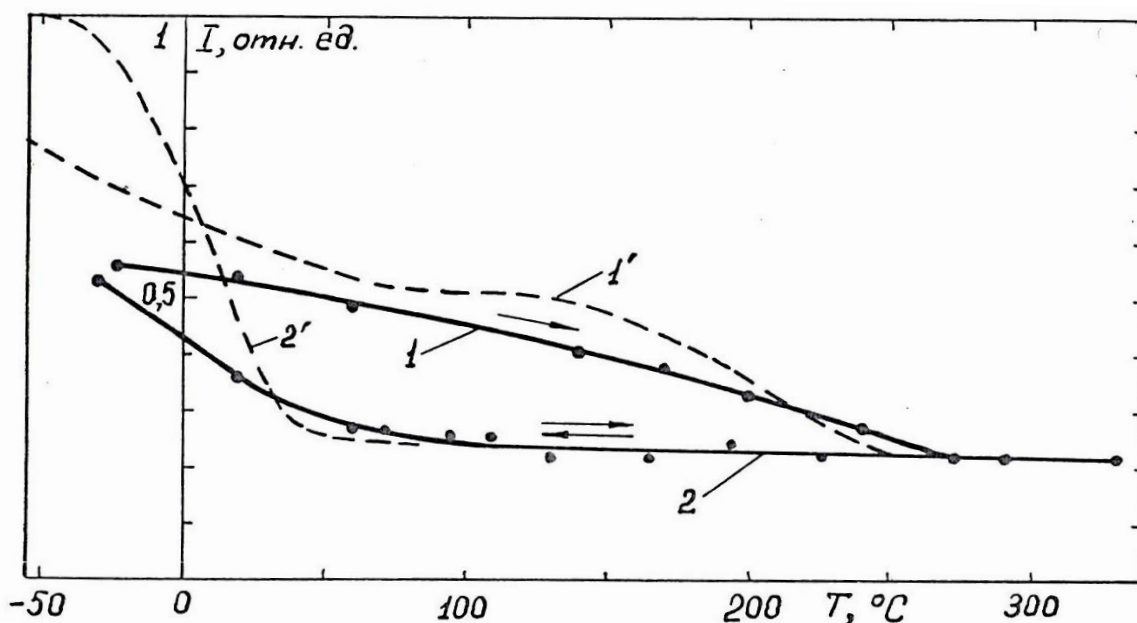


Рисунок 3. Температурные зависимости интенсивности эмиссии (рис. авт.)

Из приведенных на рис. 3 данных видно, что, как и в случае использования радиоактивного эмиттера, эмиссия при внешнем возбуждении в процессе первого нагрева образца (кривая 1) отражает термоочистку его поверхности от неравновесных биографических образований. Происходящие при этом изменения поверхности необратимы. В результате такой термоочистки вид зависимости интенсивности эмиссии от температуры стабилизируется (кривая 2), т.е. каждой температуре ставится в соответствие определенная концентрация эмиссионных центров на поверхности образца независимо от направления изменения температуры и числа циклов нагрева-охлаждения образца. Кроме того, как и в случае радиоактивного эмиттера, здесь имеется область температур (от $\sim 100^\circ\text{C}$ до $\sim 300^\circ\text{C}$), где поверхностная концентрация эмиссионных центров с температурой не изменяется.

Подобные же аналогии проявляются при сравнении зависимостей полуширины Γ энергетического распределения электронов РЭЭ и электронов, эмиттируемых при внешнем возбуждении эмиссии. В обоих случаях в результате первого нагрева образца зависимость Γ от T стабилизируется. При этом Γ монотонно увеличивается с ростом T , отражая непрерывную и обратимую перестройку электронной структуры эмиссионных образований с изменением температуры. Мы не проводим здесь графиков зависимости Γ от T , т.к. по сравнению с аналогичными данными работы [10] они не несут новой информации.

Таким образом, результаты прямых экспериментов позволяют сделать однозначный вывод о том, что, по крайней мере, в условиях вакуума $10^{-5} \div 10^{-6}$ торр, РЭЭ с радиоактивного эмиттера и эмиссия электронов в электровольтовом диапазоне энергий при ее возбуждении внешним ионизирующим излучением тождественны друг другу, имеют одну и ту же природу и ответственной за эмиссию в обоих случаях является одна и та же, слабо связанная с решеткой твердого тела, электронная система его поверхности. Кроме того, полученные данные свидетельствуют о том, что радиационные дефекты в эмиттере РЭЭ, возникающие при приготовлении ^{182}Ta в реакторе, не являются эмиссионными центрами, ответственными за РЭЭ с радиоактивного эмиттера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А. Радиационная электронная эмиссия радиоактивных осадков. – ФТТ, 1972, т. 14, с. 3448-3450.
2. Бобыкин Б.В., Невинный Ю.А., Чезганова А.Я., Якимович В.И. энергетические исследования радиационной электронной эмиссии с тантала. – ЖТФ, 1977, т. 47, с. 2132-2143.
3. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А. электронная эмиссия в режиме динамического равновесия с процессом возбуждения. – 2^й Всесоюзный симпозиум «Экзоэлектронная эмиссия и ее применение», – М.: МГУ, 1982, с. 10-11.
4. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А. Адсорбатная природа радиационной электронной эмиссии металлов. – ЖТФ, 1988, т. 58, с. 1524-1529.
5. Бобыкин Б.В., Бурминский В.П., Любов С.К. Изучение электронной системы адсорбированных пленок посредством радиационной электронной эмиссии. – Поверхность. Физика, химия, механика. 1992, №9, с. 71-75.
6. Бобыкин Б.В., Кельман В.М., Любов С.К., Невинный Ю.А. Электростатический призменный бета-спектрометр с осесимметричными линзами. – ПТЭ, 1973, №3, с. 38-41.
7. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А., Чезганова А.Я. Электронный спектрометр для исследования радиационной электронной эмиссии. – Известия АН Каз. ССР, сер. физ.-мат., 1985, №6, с. 3-9.
8. Любов С.К., Невинный Ю.А., Чезганова А.Я. Электронный спектрометр для исследования радиационной и экзоэлектронной эмиссии в сверхвысоком вакууме. – 4^й Всесоюзный симпозиум «Экзоэлектронная эмиссия и ее применение». Тезисы докладов, – Тбилиси, 1985, с. 223-224.
9. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А. Естественное распределение по энергии электронов радиационной электронной эмиссии. Известия АН КазССР, сер. Физ.-мат., 1985, №2, с. 28-31.
10. Бобыкин Б.В., Любов С.К., Невинный Ю.А. Температурные свойства радиационной электронной эмиссии. Известия АН КазССР, сер. Физ.-мат., 1985, №4, с. 3-6.
11. Любов С.К., Любова Т.С. Расчет ускоряющего элемента, рекомендованного для исследования материалов промышленного теплоэнергетического оборудования. Энергетика, информатика, инновации. II-я Международная научно-техническая конференция. Смоленск, 2012 г., с. 273 – 278.

Liubov Sergei Konstantinovich

National research university «Moscow power engineering institute»
Smolensk branch, Russia, Smolensk
E-mail: sergeylyubov@yandex.ru

Liubova Tatiana Stepanovna

National research university «Moscow power engineering institute»
Smolensk branch, Russia, Smolensk
E-mail: lubovats@yandex.ru

External excitation radiation electron emission for the study of industrial heat and power equipment

Abstract. Radiative electron emission is a dynamic balanced with excitation process electron emission in electronvolt energies range under the radioactive radiation influence. Electron energy distribution represents different maximum in near-zero energy area. So far such electrons study was carried out on electrostatic prism electron spectrometers, where the emitters were the samples containing radioactive atoms in their volume. Emission characteristics (energy distribution maximum position and distribution natural width at half-height) turned out to be very sensitive to weak electric fields and emitter temperature stated in pre-Richardson's temperature range.

The article represents experimental results which allow to answer the questions definitely: is it necessary to have radioactive atoms for emission excitation or is it enough to irradiate non-radioactive sample with external ionizing radiation. It turned out that sample surface excitation external ionizing radiation also causes electron emission in electronvolt energies range.

To define emission identity degree under different methods of excitation the energy measurements were performed and emission parameters nature behavior were found out from weak electric fields and sample temperature in the temperature range from -30 to 300 Celsius degree.

Emission energy characteristics under external excitation are fully identical to radiative electron emission characteristics and besides characteristics behavior from weak electric fields and emitter temperature also confirm the identity of both kinds of emission the same nature and weakly cut electronic system with solid state is responsible for the emission in both cases.

Keywords: radiative electron emission; spectrometer; emitter; energy distribution; emission center; natural half-width; spectrometer resolution; radioactive radiation; electronvolt; tantalum

REFERENCES

1. Babykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A. Radiation electron emission radioactive fallout. - FTT, 1972, t. 14, p. 3448-3450.
2. Bobykin B.V., Nevinniy U.A., Chezganova A.Y., Jakimovich V.I. Energy research radiation electron emission from tantalum. - JTF, 1977, 47 m, p. 2132-2143.
3. Bobykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A. Electron emission in dynamic equilibrium mode excitation process. - 2nd All-Union Symposium "exoelectronic emission and its application", - M.: Moscow State University, 1982, p. 10-11.
4. Bobykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A. Adsorbate electronic nature of radiation emissions of metals. - ZhTF, 1988, 58 m, p. 1524-1529.
5. Bobykin B.V., Burminsky V.P., Liubov S.K. The study of the electronic system of the adsorbed film by radiation of electron emission. - Surface. Physics, chemistry, mechanics. 1992, №9, p. 71-75.
6. Bobykin B.V., Kelman V.M., Liubov S.K., Nevinniy U.A. Electrostatic prism spectrometer with axisymmetric lenses. - PTE 1973, №3, p. 38-41.
7. Bobykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A., Chezganova A.Y. Electronic spectrometer for the study of radiation electron emission. - Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Ser. Sci., 1985, №6, p. 3-9.
8. Liubov S.K., Nevinniy U.A., Chezganova A.Y. Electronic spectrometer for the study of radiation and exoelectronic emission in an ultrahigh vacuum. - 4th All-Union Symposium "exoelectronic emission and its application" Abstracts, Tbilisi, 1985, p. 223-224.
9. Bobykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A. The natural energy distribution of the electrons of radiation electron emission. Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Ser. Sci., 1985, №2, p. 28-31.
10. Bobykin B.V., Liubov S.K., Nevinniy U.A. Thermal radiation electron emission properties. Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Ser. Sci., 1985, №4, p. 3-6.
11. Liubov S.K., Liubova T.S. Calculation of accelerating element, recommended for studies of industrial heat and power equipment. Power engineering, computer science, innovation. II-th International Scientific-Technical Conference. Smolensk, 2012, p. 273 - 278.