

ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В НАТРИИ И КАЛИИ

Ю.М.Кобзарь, Н.Н.Боднар

Обнаружен ряд особенностей в спектре излучения натрия и калия при облучении медленными электронами и изучено влияние температуры (293-4,2 К) на характеристики излучения. Объясняются результаты рекомбинационным излучением неравновесных носителей в энергетической сверхструктуре, созданной волнами плотности заряда.

Электронная структура простых металлов, несмотря на многочисленные исследования, продолжает привлекать внимание из-за возможности обнаружения мно-

гочисленных эффектов в энергетической структуре. Так до сих пор нет однозначности в оценке наличия сверхструктуры в спектре электронов проводимости, это же относится к положению нижней границы межзонных переходов ¹⁻³

Для определения энергетической структуры натрия и калия в области собственного и нижнего края межзонного поглощения нами использовался метод электрон-фотонной спектроскопии ^{4,5}, заключающийся в облучении металла пучком медленных электронов и изучении характеристик возникающего излучения. Исследования этим методом в ультрафиолетовой области спектра получили название - спектроскопии изохромат тормозного излучения или инверсной фотоэмиссии ⁶. Работы в ИК области спектра позволили изучать процессы излучательной релаксации стационарного неравновесного распределения электронов в окрестности уровня Ферми.

Исследования проводились в сверхвысоковакуумной камере, $P_{ост} \sim 7 \cdot 10^{-8}$ Па. Пленки Na и K, чистотой 99,99% напыляли на медную подложку путем термического испарения из кварцевого тигля и облучали электронным пучком с энергией 80 - 1600 эВ и плотностью тока 0,5 - 1,5 А/см². Подложка крепилась

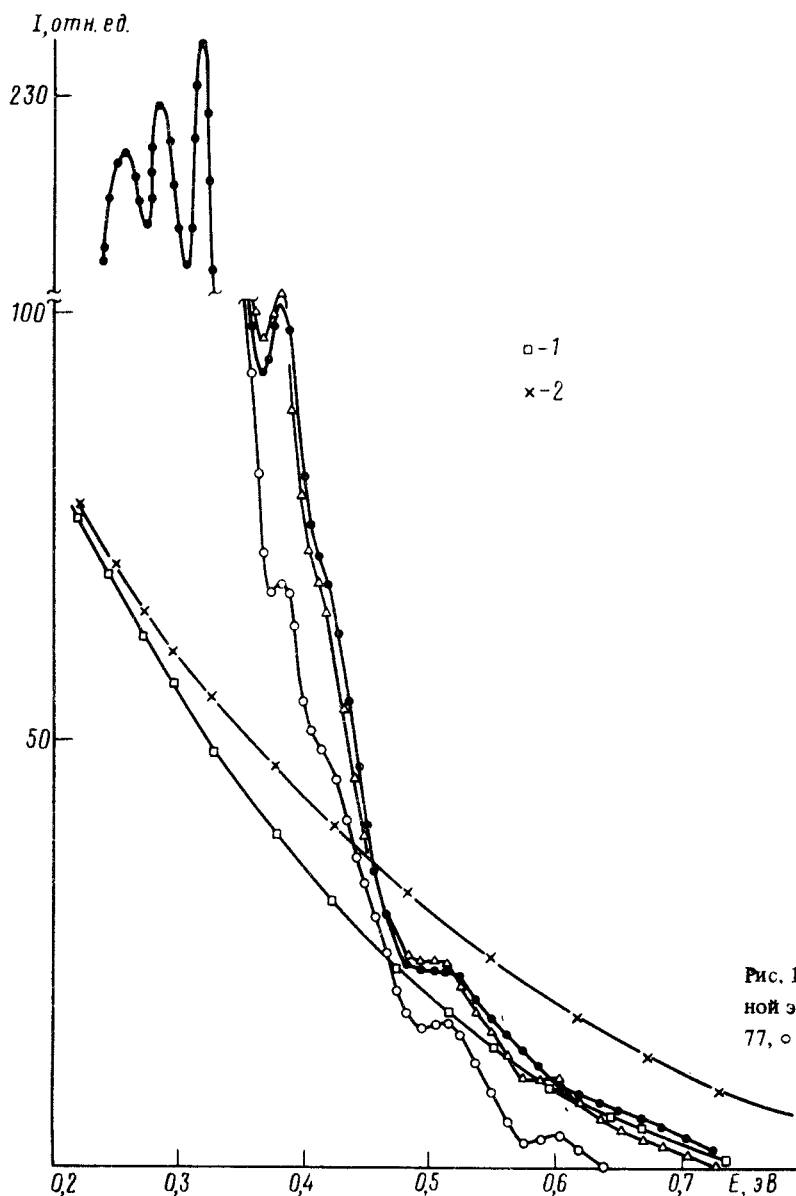


Рис. 1. Спектр электрон-фотонной эмиссии Na: ● - 293, Δ - 77, ○ - 4,2 К

к сосуду Дьюара, что позволяло охлаждать пленки Na и K, до 4,2 К. Излучение из камеры выходило через сапфировое окно и поступало в светосильный ИК спектрометр с зеркальной оптикой. Регистрация излучения проводилась приемником пороговых потоков излучения PbS (295 и 77 К) и InSb (77 К) в режиме синхронного детектирования с накоплением на мини-ЭВМ.

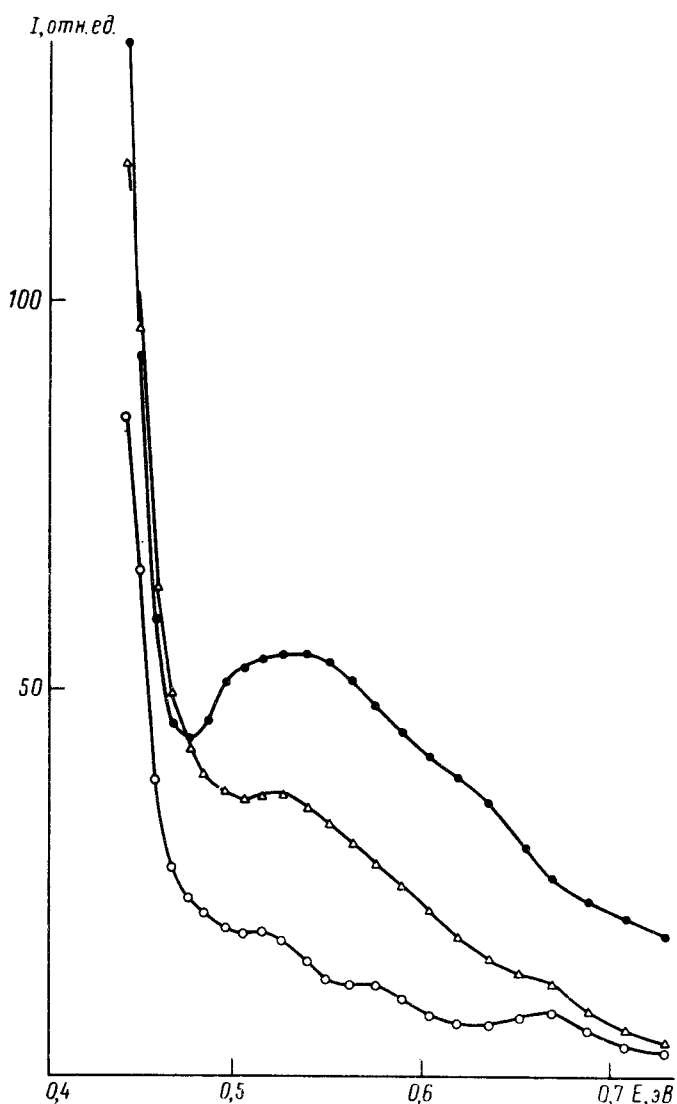
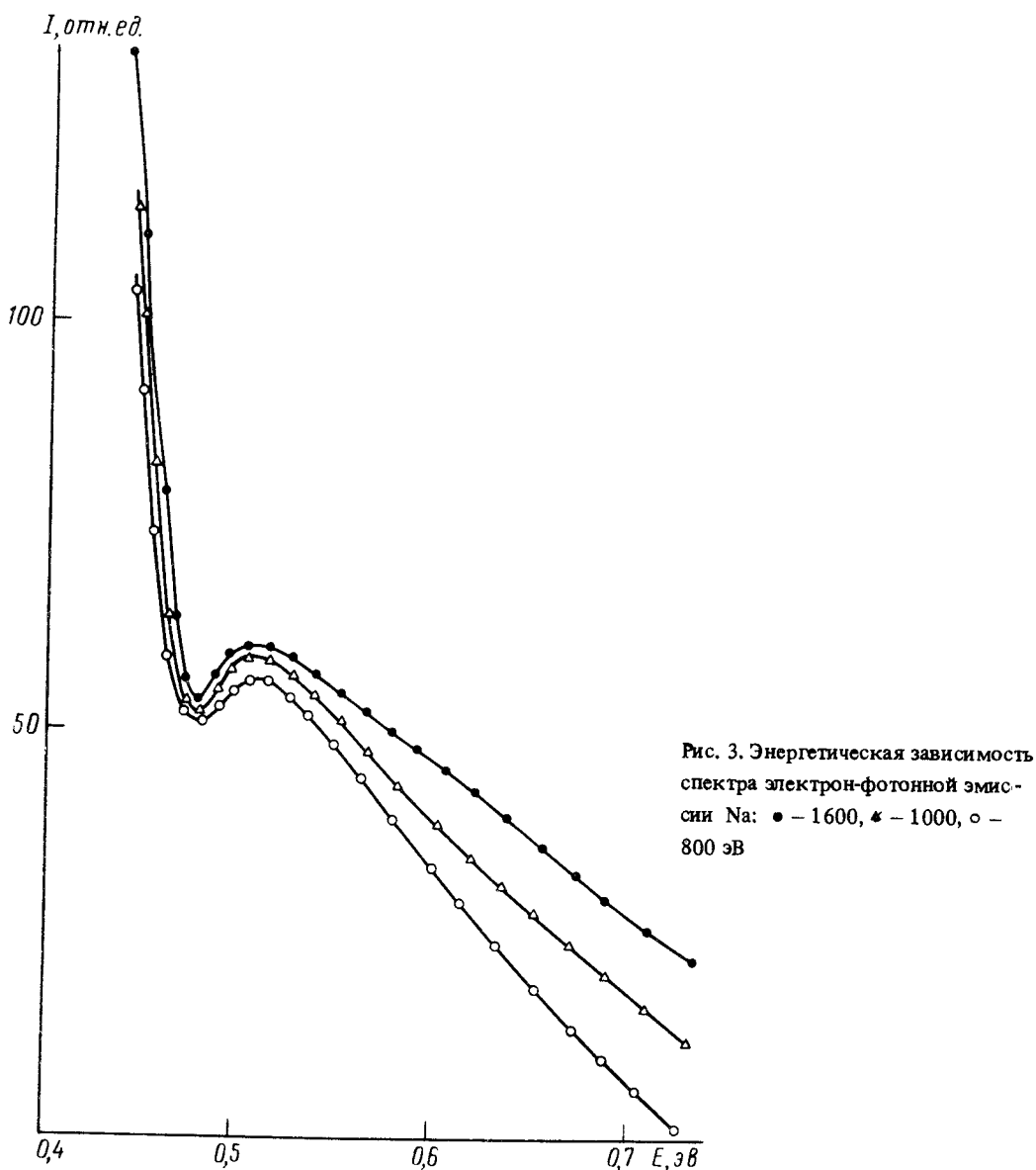


Рис. 2. Спектр электрон-фотонной эмиссии K: ● - 293, ▲ - 77, ○ - 4,2К

На рис.1 и 2 приведены спектры электрон-фотонной эмиссии (ЭФЭ) Na и K при различной температуре подложки 295, 77 и 4,2 К. Форму спектра излучения

можно объяснить двумя каналами излучательной релаксации неравновесных электронов, первый, это внутризонные переходы. Для характеристики состояния таких электронов можно ввести эффективную электронную температуру Q_e ⁷. На рис. 1, кривая 1 и 2, показан расчет спектра внутризонных не прямых переходов для Na при $Q_e = 0,2$ и $0,4$ эВ. Эти кривые в какой то мере описывают рост интенсивности с уменьшением энергии фотонов, особенно до 0,48 эВ. В то же время на экспериментальных спектрах присутствует целый ряд особенностей, выз-

ванных вторым каналом релаксации неравновесных электронов - междузонными излучательными переходами, которые обусловлены наличием энергетических щелей в законе дисперсии электронов в окрестности уровня Ферми. Нижняя граница междузонных переходов в основной решетке определяется касанием (пересечением) поверхности Ферми с плоскостями первой зоны Бриллюэна. По оценкам ⁸, в Na это соответствует 0,46 эВ, в нашем эксперименте, вероятно, нижней границе будет соответствовать особенность при $E_2 = 0,512$ эВ. Следует отметить, что эта особенность обусловлена прямыми межзонными переходами, поскольку на нее практически не влияет температура и она отчетливо проявляется при всех энергиях облучающих электронов (рис. 3).



У калия также есть особенность при $E_2 = 0,52$ эВ, но здесь отчетливо проявляется тот факт, что помимо прямых межзонных переходов, как у Na, важную роль играют не прямые переходы с участием фононов, что ведет к смещению E_2 и уширению особенности при изменении температуры. В спектрах ЭФЭ натрия и калия при понижении температуры металла, особенно до 4,2 К, проявляется

целый ряд особенностей при $E_3 = 0,58$ эВ; $E_4 = 0,67$ эВ для калия и $E_0 = 0,25$ эВ; $E_1 = 0,293$ эВ; $E_3 = 0,605$ эВ для натрия, которые по всей вероятности обусловлены действием потенциала многочастичных взаимодействий. К наиболее известным относятся неустойчивости в решетке при взаимодействии электронов и фононов с волновым вектором $\vec{k} = 2\vec{k}_F$. Одним из видов такой неустойчивости являются волны плотности заряда (ВПЗ). Действие потенциала ВПЗ $V_{\text{плз}} = 2\alpha \cos(\vec{Q} \cdot \vec{r})$, где α - амплитуда, \vec{Q} - волновой вектор ВПЗ, приводит к возникновению энергетических щелей в спектре электронов в окрестности уровня Ферми². Между возникающими зонами происходят излучательные переходы, энергия фотонов при этом равна 2α , т.е. удвоенному значению потенциала ВПЗ для данного направления в кристалле. Сравнение упрощенных расчетов положения особенностей в спектрах поглощения Na и K, обусловленных действием ВПЗ² с нашими экспериментальными данными показывает, разницу в два раза для особенностей, лежащих при энергиях фотонов меньше 0,3 эВ.

Литература

1. *Sievers A.J.* Phys. Rev. B, 1980, 22, 1600.
2. *Fragachan F.E., Overhauser A.W.* Phys. Rev. B, 1985, 31, 4802.
3. *Collins I.R. et al.* J. Phys. C.: Sol. St. Phys., 1988, 21, L655.
4. *Кобзарь Ю.М. и др.* ФТТ, 1986, 28, 3500.
5. *Кобзарь Ю.М. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1989, 50, 323.
6. *Pendry J.B.* J. Phys. C.: Sol. St. Phys., 1981, 14, 1381.
7. *Кобзарь Ю.М. и др.* УФЖ, 1988, 33, 207.

Львовский физико-механический
институт им.Г.В.Карпенко

Поступила в редакцию
24 января 1990 г.