Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 1

*ФИЗИКА*

Л. Н. ДОБРЕЦОВ и А. С. ТИТКОВ

# ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ С ГРАНИ (100) МОНОКРИСТАЛЛА NaCl

*(Представлено академиком П. И. Лукирским 13 IX 1954)*

В большинстве работ по исследованию вторичной электронной эмиссии щелочно-галоидных солей мишени представляли собой тонкие слои соли, наносимые испарением в вакууме на металлические подложки. Результаты измерений значительно отличаются для различных мишеней из одной и той же соли как по форме кривой $\sigma(V_p)$, так и по значениям $\sigma_{max}$ даже у одних и тех же исследователей ([1,2]). Это различие, повидимому, связано с различием в структуре слоев соли. В некоторых работах изучалась вторичная эмиссия монокристаллических мишеней, поверхность которых полировалась тем или иным способом. В недавно появившейся работе А. Р. Шульмана с сотр. ([3]) для исследования вторичной эмиссии с поверхности монокристалла NaCl, полированного водой, применен наиболее совершенный для подобных мишеней метод одиночных импульсов. Основные результаты этой работы следующие: а) кривая $\sigma(V_p)$ существенно зависит от тепловой обработки мишени перед измерениями; б) $\sigma_{max}$ для прогретой мишени $\sim 8$; в) коэффициент вторичной электронной эмиссии не зависит от температуры в интервале от комнатной до 600°.

Мы, также методом одиночных импульсов, провели исследование вторичной электронной эмиссии с поверхности монокристалла NaCl, полированной пастой ГОИ, подтвердившее основные результаты работы ([3]). В ходе этих исследований обнаружился значительный разброс коэффициента вторичной эмиссии при данном $V_p$ для различных образцов NaCl, изготовленных из одного и того же кристалла. Результаты указывали на то, что полированные поверхности имеют различную микроструктуру и это сказывается на вторичной эмиссии.

В настоящей статье изложены некоторые результаты наших исследований методом одиночных импульсов вторичной электронной эмиссии с плоскости спайности кристалла NaCl.

Схема для измерения коэффициента вторичной электронной эмиссии в основном совпадала с схемой, использованной в работе ([3]). Длительность импульсов равнялась 10 μсек.; сила первичного тока в импульсе была $10^{-8} - 10^{-9}$ а; диаметр электронного пучка на мишени равнялся 5 мм. После каждого измерения $\sigma$ при низких температурах мишени производилась разрядка поверхности мишени импульсами первичного тока при нулевом потенциале коллектора. Было проверено, что $\sigma$, измеренные после такой разрядки и после разрядки нагревом, в наших условиях совпадали. Прибор, в отличие от обычно употребляемых для подобных исследований, имел держатель для закрепления пластинки NaCl (размером 12 × 12 мм и толщиной 1,5—1,8 мм) и приспособление для раскалывания этой пластинки в вакууме. Последнее осуществлялось движением ножа со сбрасывателем, врезавшегося в

боковую поверхность пластинки и скалывавшего слой кристалла толщиной 0,7—1,0 мм; нож при скалывании входил в пластинку на незначительную глубину, не доходя до части пластинки, облучаемой электронным пучком. В держателе находился нагреватель; к подложке кристалла была приделана термопара. Вакуум в приборе при измерениях был не хуже, чем $10^{-6}$ тор.

Поверхность скола оказывалась заряженной. Перед измерениями заряд снимался кратковременным прогревом пластинки до $\sim 200°$. Если пластинку оставить на 15—20 час. в форвакууме, то заряд снимался и без нагревания.

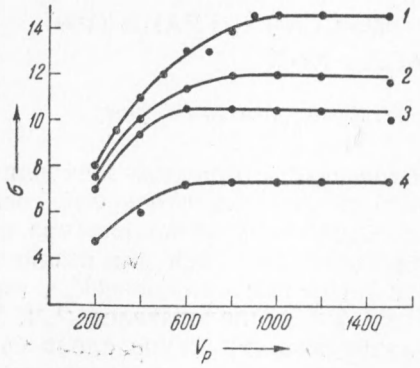



Рис. 1

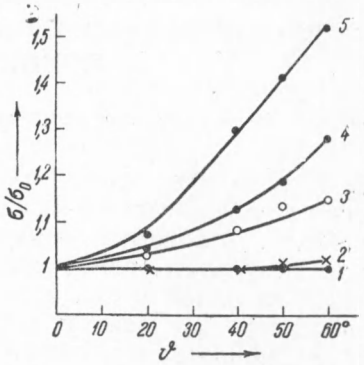



Рис. 2

Измерения $\sigma(V_p)$ для поверхности скола показали очень хорошую воспроизводимость; результаты для разных пластинок совпадали в пределах точности измерений (5—10%). Длительное пребывание пластинки в форвакууме не приводило к заметному изменению кривой $\sigma(V_p)$. Более того, если произвести скалывание на воздухе и после этого поместить пластинку в прибор, то кривая $\sigma(V_p)$ в пределах погрешности опыта получается та же. Даже пребывание сколотой пластинки в сухом атмосферном воздухе в течение суток не вызывало ощутимого изменения. Поэтому дальнейшие измерения производились с пластинками, расколотыми на воздухе и сразу после раскалывания помещенными в вакуумный прибор. Это позволяло упростить прибор и изготовлять более тонкие пластинки NaCl (до 0,3 мм).

Кривая $\sigma(V_p)$ для сколотых пластинок приведена на рис. 1 (кривая *1*). Характер этой кривой подобен кривой *2* рис. 9 работы ([3]), но значения $\sigma_{max}$ заметно больше. Кратковременным погружением мишени в воду и высушиванием можно было получить и кривую $\sigma(V_p)$, совпадающую с кривой *1* рис. 9 работы ([3]). Прогревание мишени до 550° в течение 15—20 мин. превращало кривую $\sigma(V_p)$ в аналогичную кривой *2* того же рисунка. Значения $\sigma$ в области $V_p \leqslant \sim 200$ в соответствуют очень высоким выходам возбужденных электронов; ширина запрещенной зоны в NaCl около 10 эв, поэтому первичный электрон с энергией в 200 эв может возбудить в зону проводимости 20 электронов; из кривой *1* видно, что около 40% из них выходят из кристалла в виде вторичных электронов.

В противоположность ([3]), вторичная эмиссия с поверхности скола обнаруживает отчетливую температурную зависимость, а именно, коэффициент вторичной электронной эмиссии для всех $V_p$ в исследованном нами интервале значений уменьшается при повышении температуры кристалла. На рис. 1 приведены кривые $\sigma(V_p)$ для температуры 270° (кривая *2*) и для 550° (кривая *3*). Нагревание до 100° в наших опытах не вызывало ощутимого изменения $\sigma(V_p)$.

Если кристалл NaCl подвергнуть электролизу, то в нем, как известно ([4]), после охлаждения остается значительное число нарушений решетки. Пластинки, выколотые из кристаллов, предварительно подвергнутых электролизу, обнаруживают значительное (до двукратного) снижение $\sigma(V_p)$. Кривая *4* рис. 1 получена при комнатной температуре для одной из таких пластинок (электролиз велся при 750—800° в течение 30 мин. при токе в 12 ма). Таким образом, нарушения решетки приводят к снижению $\sigma$. Прогревание такой пластинки в течение 30 мин. до 250—300° в вакууме, уничтожающее нарушения, приводит $\sigma$ к значениям для нормальной пластинки.

На рис. 2 даны графики отношения $\sigma/\sigma_0$ в зависимости от угла падения $\vartheta$ первичного пучка (при комнатной температуре) для ряда значений $V_p$ (*1* — $V_p = 400$ в, *2*—600 в, *3*—800 в, *4*—1200 в; $\sigma_0$ — для нормального падения). Эти результаты как и кривые $\sigma(V_p)$, хорошо воспроизводимы. Для сравнения там же (кривая *5*) приведена зависимость $\sigma(\vartheta)$, измеренная в том же приборе для металлической мишени (необезгаженный Ni) при $V_p = 400$ в. При $V_p < 600$ в в пределах точности измерений $\sigma$ для NaCl не зависит от $\vartheta$; при $V_p > 600$ в $\sigma$ возрастает с $\vartheta$, но значительно медленнее, чем для металла. Для более высоких температур мишени угловая зависимость делается несколько большей.

В качестве материала для мишеней нами использовались естественные кристаллы поваренной соли из Артемовского месторождения. Как известно, эти кристаллы содержат малое количество примесей. Для того чтобы проверить независимость результатов от наличия малых количеств примесей, мы провели измерения $\sigma(V_p)$ и температурных эффектов для мишени, изготовленной раскалыванием искусственно выращенного кристалла NaCl. Подобные кристаллы содержат большее количество примесей, чем естественные, прозрачные кристаллы поваренной соли. Если бы вторичная электронная эмиссия была чувствительна к малым количествам примесей, то результаты измерений для этих двух мишеней заметно отличались бы друг от друга. Опыты показали, что и кривая $\sigma(V_p)$ и температурные эффекты в пределах точности измерений для обеих мишеней совпали.

Результаты изложенных выше опытов нельзя объяснить какими-либо поверхностными загрязнениями, так как метод изготовления исследуемой поверхности гарантирует от введения посторонних веществ в процессе изготовления мишени. Нельзя их объяснить и адсорбцией газов на поверхности мишени, так как пребывание мишени в форвакууме в течение десятков часов или в сухом воздухе не вызывало заметного изменения $\sigma(V_p)$; предположение об изменении $\sigma$ из-за адсорбции паров вакуумной замазки опровергается тем, что нагревание мишени до 100° не вызывало заметного изменения $\sigma(V_p)$. Нельзя отрицать наличия адсорбированных газов на исследуемой поверхности, однако значения $\sigma(V_p)$ определяются не ими, а самим кристаллом NaCl. Нельзя объяснить наблюдаемые эффекты и объемно-распределенными загрязнениями, так как опыты с кристаллами, содержащими разное количество их, дали совпадающие результаты. Таким образом, измеренные нами значения коэффициента вторичной электронной эмиссии и температурные эффекты присущи самому кристаллу NaCl.

Температурная зависимость $\sigma$ объясняется, как нам кажется, наряду с зависимостью фононных потерь энергии возбужденными электронами, изменением количества дефектов решетки с температурой, также вызывающих уменьшение числа возбужденных электронов, могущих выйти из кристалла. Равновесное число дефектов по Шоттки, для щелочно-галоидных кристаллов равно (см. ([5]), стр. 43 и 55)

$$n = NB\gamma e^{-w_0/2kT},$$

где $B\gamma \approx 10^3 - 10^4$ ([5], стр. 43); $N = 2{,}3 \cdot 10^{22}$ см$^{-3}$ и $^1/_2\bar{w}_0$ для NaCl равно 0,9 эв ([5], стр. 77).

Полагая $B\gamma = 5 \cdot 10^3$, получим для числа дефектов в 1 см$^3$ значения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

| | Т-ра в °С | | |
|---|---|---|---|
| | 20 | 270 | 550 |
| $n$, см$^{-3}$ | $3 \cdot 10^{10}$ | $3 \cdot 10^{17}$ | $1{,}5 \cdot 10^{20}$ |
| $\lambda$, см | $3 \cdot 10^{4}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ |

Если взять сечение $S$ захвата электрона дефектом по ([5]) (см. стр. 128), то можно вычислить средний свободный пробег возбужденного электрона по отношению к захвату, равный $\lambda = 1/nS$; значения $\lambda$ приведены выше. Эти цифры, нам кажется, находятся в согласии с предположением о существенной роли нарушений решетки в температурной зависимости вторичной эмиссии.

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
29 IV 1954

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. В. Зернов, Б. С. Кульварская, ЖТФ, **16**, 71 (1946). [2] А. С. Коршунова, Н. С. Хлебников, ЖТФ, **9**, 860 (1939). [3] А. Р. Шульман, В. Л. Македонский, И. Д. Ярошецкий, ЖТФ, **23**, 1152 (1953). [4] M. Hacskaylo, G. Groemzinger. Phys. Rev., **87**, 789 (1952). [5] Н. Мотт, Р. Герни, Электронные процессы в ионных кристаллах, ИЛ, 1950.