

Примечание при корректуре: знак T -упорядочения в формуле (6) должен относиться и к матрицам t_i . Это ограничивает справедливость формулы (7) случаем сильного электрон-фононного взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Toyozawa J., Inoue M., J. Phys. Soc. Japan, **21**, 1963 (1966).
2. Кристофель Н. Н., Опт. и спектр., **22**, 74 (1967).
3. Кристофель Н. Н., Завт Г. С., ФТТ, **5**, 1279 (1963).
4. Mc Cumber D. E., J. Math. Phys., **5**, 508 (1964).
5. Перлин Ю. Е., ФТТ, **7**, 1941 (1968).
6. Розенфельд Ю. Б., Вехтер Б. Г., Цукерблат Б. С., ЖЭТФ, **55**, 2252 (1968).

Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
21/X 1969
В окончательном виде
11/XI 1969

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 19. KOIDE
FÜSIKA * MATEMAATIKA. 1970. NR. 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 19
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1970. № 2

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1970.2.19>

В. ХИЖНЯКОВ, Э. РЕАЛО

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА

V. HIZNYAKOV, E. REALO. ELEKTRONPROTSESSIDE KINEETIKA JA MÖSSBAUERI EFEKT
V. HIZHNYAKOV, E. REALO. KINETICS OF ELECTRON PROCESSES AND THE MÖSSBAUER
EFFECT

Целью данной работы является указать на одну возможность исследования кинетики электронных процессов в изоляторах и полупроводниках с помощью эффекта Мёссбауэра. Предлагаемый метод состоит в исследовании влияния, которое оказывает облучение видимым или инфракрасным светом на мёссбауэровский спектр кристалла, являющегося одновременно источником γ -квантов.

Суть метода в следующем. Радиоактивный распад материнских ядер источника γ -квантов обычно приводит к тому, что в первый момент после распада суммарный заряд мёссбауэровского ядра и его электронной оболочки возрастает (см., например, [1]). Процессами, приводящими к такому изменению заряда, могут быть β -распад, электронная конверсия и электронный захват с последующей Оже-ионизацией электронной оболочки. Указанные процессы в ядре и в электронной оболочке совершаются весьма быстро (за время $\sim 10^{-13}$ сек) по сравнению со временем жизни мёссбауэровского уровня τ_0 .

Время τ_0 обычно настолько велико, что в металлах и при обычных условиях в полупроводниках и изоляторах ионизованная электронная оболочка мёссбауэровского ядра источника успевает получить недостающие электроны из кристалла еще до испускания мёссбауэровского γ -кванта. В результате указанная ионизация электронной оболочки на опыте не обнаруживается.

Однако в изоляторах и в полупроводниках можно создать такие условия (низкие температуры, большое число электронных центров захвата и т. д.), когда за время τ_0 ионизованная электронная оболочка мёссбауэровских ядер не успевает полностью восстановиться. Тогда в мёссбауэровском спектре возникнут новые линии, относящиеся к указанным ионизованным атомам источника. Если теперь освещать кристалл источника видимым или инфракрасным светом, либо каким-нибудь другим способом создавать электроны в зоне проводимости, то время жизни ионизованных мёссбауэровских атомов источника уменьшится. В результате интенсивность линий в мёссбауэровском спектре перераспределится в пользу линий ионов с меньшим зарядом.

Если число создаваемых зонных электронов достаточно велико, то в спектре γ -лучей вероятности линий ионов с избыточным положительным зарядом заметно изменятся. Необходимую для этого интенсивность света можно найти по формуле:

$$I \sim \kappa^{-1} \tau_e^{-1} (e/\mu \tau k T)^{3/2}, \quad (1)$$

где κ — коэффициент поглощения света, e — элементарный заряд, μ — подвижность электрона, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, τ_e — среднее время пребывания электрона в зоне до его рекомбинации с дыркой; $\tau = \tau_0$, если $\tau_e > \tau_0$, и $\tau = \tau_e$, если $\tau_e < \tau_0$. Формула (1) справедлива при условии $\kappa^{-1} > \Delta$, где Δ — толщина источника. Если $L > \Delta > \kappa^{-1}$, где L — диффузионная длина ($L = (\mu \tau_e k T / e)^{1/2}$), то

$$I \sim \Delta \tau_e^{-1} (e/\mu \tau k T)^{3/2}. \quad (2)$$

Для достаточно чистых полупроводников L достигает нескольких миллиметров. В этом случае можно взять $\Delta \leq L$ и возбуждение проводить в области переходов зона-зона. (Хотя здесь $\kappa \sim 10^4 \text{ см}^{-1}$, концентрация зонных электронов будет примерно одинакова по всему источнику, так как $L > \Delta$). Для оценок I следует при этом воспользоваться формулой (2). Например, если: $\tau_0 = 10^{-7} \text{ сек}$, $\tau_e = 10^{-4} \text{ сек}$, $\Delta = 3 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, $T = 100^\circ \text{ К}$, $\mu = 10^4 \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1} \text{ в}^{-1}$, то $I \approx 10^{10} \text{ сек}^{-1} \text{ см}^{-2}$.

Для изоляторов величина L часто гораздо меньше, чем для полупроводников, и условие $L > \Delta$ может оказаться трудно выполнимым. Тогда для создания зонных электронов, равномерно распределенных по всему объему источника γ -лучей, целесообразно использовать возбуждение не в области зона-зона переходов, а возбуждение меньшей частоты, приводящее к высвобождению электронных ловушек или ионизации примесных центров. В этом случае легко выполнимо условие $\kappa^{-1} < \Delta$ и для оценок I следует использовать формулу (1). Если, например: $\tau_0 = \tau_e = 10^{-7} \text{ сек}$, $T = 100^\circ \text{ К}$, $\mu = 10^3 \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1} \text{ в}^{-1}$, $\kappa = 10^2 \text{ см}^{-1}$, то $I \approx 10^{14} \text{ сек}^{-1} \text{ см}^{-2}$.

Предлагаемый метод может оказаться полезным для исследования кинетики быстрых электронных процессов. Действительно, характерное время регистрируемых данным методом процессов есть τ_0 . Оно для некоторых мёссбауэровских ядер приближается к 10^{-11} сек . Метод может также оказаться полезным для определения знака кинетических процессов, а также для исследования сечения захвата различных электронных ловушек.

В заключение отметим, что в кристаллах с малой шириной запрещенной зоны изменения спектра мёссбауэровских γ -квантов можно добиться также путем инжекции электронов.

Авторы благодарны В. Денксу и Ф. Савихину за обсуждение затронутых в работе вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вертхейм Г., Эффект Мессбауэра, М., 1966, с. 100.

Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
22/XII 1969

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 19. KÕIDE
FOOSIKA * MATEMAATIKA. 1970, NR. 2

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 19
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1970, № 2

Э. РЕАЛО, Р. РАУДСЕПП

МЁССБАУЭРОВСКИЕ СПЕКТРЫ $ZnS-^{57}Co$

E. REALO, R. RAUDSEPP. SÜSTEEMI $ZnS-^{57}Co$ MÖSSBAUERI SPEKTRID

E. REALO, R. RAUDSEPP. MÖSSBAUER SPECTRA OF $ZnS-^{57}Co$

Исследовалась температурная зависимость мёссбауэровских спектров γ -источника $ZnS-^{57}Co$ относительно поглотителя $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ в интервале температур $80^\circ K-400^\circ K$.

Свойства примесных ионов железа в решетке ZnS (кубической модификации) исследовались во многих работах оптическими и электрическими методами [1]; методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [2-4] и методом эффекта Мёссбауэра [5].

Полученные данные интерпретируются в основном по двум моделям центра железа в ZnS . Оптическими методами и методом ЭПР показано, что ион железа Fe^{2+} замещает катион Zn^{2+} решетки [1-4]. Авторы работы [5] объясняют мёссбауэровский спектр, предполагая, что существуют центры Fe^{3+} , ассоциированные анионной вакансией.

Нами проведено мёссбауэровское исследование ZnS , активированного ^{57}Co , который электронным захватом переходит в ^{57}Fe . Предполагается, что валентное состояние и месторасположение образующего иона ^{57}Fe в решетке остаются теми же, что для ионов ^{57}Co до распада [6].

Дезоксидированный ZnS и плавленый $NaCl$ (3 вес. %) ввели в раствор $^{57}CoCl_2$ в HCl и H_2O и высушили. Последовала термическая обработка в атмосфере серы в течение 2-х часов при $950^\circ C$. Активность источника $\sim 0,2$ мкюри (концентрация $\sim 10^{-7} \frac{z^{57}Co}{z^{ZnS}}$).

Измерения мёссбауэровских спектров проводились спектрометром с переменной скоростью (форма сигнала скорости пилообразная) на базе многоканального анализатора LP4050. Стандартный поглотитель из $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ ($7,3 \frac{mz^{57}Fe}{cm^2}$, природное железо) имел полуширину линий $(0,27 \pm 0,03)$ мм/сек, измеренную при комнатной температуре источника ^{57}Co в хrome. Температура источника $ZnS-^{57}Co$, помещенного в простой криостат, могла варьироваться в пределах $80-400^\circ K$.

При комнатной температуре наблюдалась одна нерасщепленная линия поглощения полушириной $(0,27 \pm 0,03)$ мм/сек и с изомерным сдвигом $(0,58 \pm 0,03)$ мм/сек относительно поглотителя $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$. При понижении температуры линия заметно уширялась: до $(0,90 \pm 0,06)$ мм/сек при $80^\circ K$ и приобретала более сложную структуру (см. рис.).