

СЕКЦИЯ «ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»

УДК 538.945

А.Ю.Январева (5 курс, каф. ЭФ), П.П.Серегин, д.ф.-м.н, проф.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВЫХ СОСТОЯНИЙ ДВУХЭЛЕКТРОННОЙ ПРИМЕСИ ОЛОВА  
В ХАЛЬКОГЕНИДАХ СВИНЦА МЕТОДОМ ЭМИССИОННОЙ МЕССБАУЭРОВСКОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ НА ИЗОТОПАХ  $^{119\text{m}}\text{Sn}(^{119\text{m}}\text{Sn})$ ,  $^{119}\text{Sb}(^{119\text{m}}\text{Sn})$  И  $^{119\text{m}}\text{Te}(^{119\text{m}}\text{Sn})$

Известно, что при замещении электрически активным примесным атомом атома решетки в запрещенной зоне полупроводника образуется либо донорный, либо акцепторный уровень, способный при изменении положения уровня Ферми отдавать (принимать) один электрон ("одноэлектронные" центры). Однако существуют дефекты, способные при взаимодействии с кристаллической решеткой отдавать (принимать) два электрона ("двухэлектронные центры"). В запрещенной зоне полупроводников в этом случае образуются две полосы локализованных состояний, разделенных на величину корреляционной энергии (энергии Хаббарда)  $U = E_2 - E_1$ , где  $E_1$  и  $E_2$  - первая и вторая энергии ионизации центра.

Если  $U < 0$ , то возникает схема уровней, которой приписан термин "двухэлектронные центры с отрицательной корреляционной энергией" (или "U центры").

В литературе практически отсутствуют экспериментальные наблюдения двухэлектронных центров с отрицательной корреляционной энергией. Исключение составляют лишь примесные атомы олова в халькогенидах свинца и их твердых растворах, для которых методом мессбауэровской спектроскопии на изотопе  $^{119}\text{Sn}$  такие центры были идентифицированы в большом числе работ, предложена модель двухэлектронных донорных центров с отрицательной корреляционной энергией и на ее основе объяснены все имеющиеся экспериментальные данные по электрическим и оптическим свойствам халькогенидов свинца, легированных оловом.

Эти исследования были выполнены в абсорбционном варианте мессбауэровской спектроскопии. Предельная чувствительность абсорбционной мессбауэровской спектроскопии по концентрации изотопа  $^{119}\text{Sn}$  в халькогенидах свинца не превышает 1 ат%, однако, предполагается, что наиболее драматичные изменения в энергетическом спектре примесных атомов олова в халькогенидах свинца происходят при концентрациях олова  $\leq 0.5$  ат%. В этом случае предпочтительно использовать эмиссионный вариант мессбауэровской спектроскопии, чувствительность которой может достигать  $\sim 10^{-7}$  ат%.

Настоящая работа посвящена исследованию методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопах  $^{119\text{m}}\text{Sn}(^{119\text{m}}\text{Sn})$ ,  $^{119}\text{Sb}(^{119\text{m}}\text{Sn})$  и  $^{119\text{m}}\text{Te}(^{119\text{m}}\text{Sn})$  центров олова в  $\text{PbS}$  и  $\text{PbSe}$ . Предварительные результаты опубликованы в работе [1].

Показано, что зарядовое состояние антиструктурного дефекта олова, образующегося в анионной подрешетке  $\text{PbS}$  и  $\text{PbSe}$  после ядерного распада изотопов  $^{119}\text{Sb}$  и  $^{119\text{m}}\text{Te}$ , не зависит от положения уровня химического потенциала, тогда как центр олова, образующийся после ядерного распада изотопов  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sb}$  и  $^{119\text{m}}\text{Te}$  в катионной подрешетке  $\text{PbS}$  и  $\text{PbSe}$ , представляет собой двухэлектронный донорный центр с отрицательной корреляционной энергией (нейтральному состоянию центра  $[\text{Sn}]^0$  соответствует ион  $\text{Sn}^{2+}$ , а двукратно ионизованному состоянию  $[\text{Sn}]^{2+}$  соответствует ион  $\text{Sn}^{4+}$ ). Для частично компенсированного

PbSe частота процесса двухэлектронного обмена между нейтральными и ионизованными донорными центрами олова в катионной подрешетке растет с ростом температуры.

Показана тождественность эмиссионных [ $^{119\text{m}}\text{Sn}(^{119\text{m}}\text{Sn})$ ] и абсорбционных ( $^{119}\text{Sn}$ ) мессбауэровских спектров примесных атомов олова в халькогенидах свинца. Сделано предположение, что механизм возникновения многозарядных ионов олова в результате конвертированного изомерного перехода в материнских атомах  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  справедлив лишь для свободных атомов, тогда как в конденсированных средах с высокой концентрацией носителей тока конечной зарядовой формой стабилизации дочернего атома является зарядовое состояние материнского атома.

Значительная величина энергии отдачи атомов  $^{119}\text{Sb}$  после радиоактивного распада материнских атомов  $^{119\text{m}}\text{Te}$  приводит к появлению заметной доли смещенных атомов  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ , однако большая часть атомов  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  после распада  $^{119\text{m}}\text{Te} \rightarrow ^{119}\text{Sb} \rightarrow ^{119\text{m}}\text{Sn}$  остается в анионной подрешетке, играя роль антиструктурных дефектов. В отличие от атомов олова в катионной подрешетке, антиструктурные дефекты  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  оказываются электрически неактивными центрами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 02-02-17306).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. N.P.Seregin, P.P.Seregin, S.A.Nemov, A.Yu.Yanvareva. J.Phys.: Condens. Matter 2003, v.15, p. 7591-7597.