

Антиструктурные дефекты в полупроводниковых стеклах Ge–Te и Ge–As–Te

© А.В. Марченко¹, П.П. Серегин¹, Е.И. Теруков², К.Б. Шахович¹

¹ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
191186 Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В.И. Ленина,
197376 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: ppseregin@mail.ru

(Поступила в Редакцию 27 ноября 2018 г.

В окончательной редакции 3 декабря 2018 г.

Принята к публикации 10 декабря 2018 г.)

Методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{119m}Sn (^{119m}Sn), ^{119m}Te (^{119m}Sn), ^{125}Sn (^{125}Te) и ^{125m}Te (^{125}Te) продемонстрировано образование антиструктурных дефектов в стеклообразных сплавах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ в виде атомов олова в узлах теллура и атомов теллура в узлах германия. Показано, что изовалентное замещение атомов германия атомами олова не изменяет симметрию локального окружения узлов германия, тогда как атомы олова и теллура в несвойственных для них позициях перестраивают свое локальное окружение.

DOI: 10.21883/FTP.2019.05.47570.9032

1. Введение

Антиструктурные дефекты — это дефекты, возникающие в соединениях из-за взаимного обмена местами атомов различной химической природы. Такие дефекты встречаются, как правило, когда размеры указанных атомов сопоставимы и роль ионной составляющей химической связи невелика [1]. В частности, антиструктурные дефекты наблюдались в нелегированном арсениде галлия, в котором наряду с вакансиями мышьяка и галлия, межузельными атомами мышьяка и галлия присутствуют атомы мышьяка в позиции галлия и атомы галлия в позиции мышьяка [2]. В ионных соединениях антиструктурные дефекты практически не встречаются. Однако использование эмиссионной мессбауэровской спектроскопии позволяет стабилизировать такие дефекты и в полупроводниковых соединениях с большой ионной составляющей химической связи [3–8].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального наблюдения атомов олова и теллура, входящих в состав антиструктурных дефектов в стеклообразных полупроводниковых сплавах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$. Для этой цели был использован эмиссионный вариант мессбауэровской спектроскопии на изотопах ^{119m}Sn (^{119m}Sn), ^{119m}Te (^{119m}Sn), ^{125}Sn (^{125}Te) и ^{125m}Te (^{125}Te), что позволило стабилизировать примесные атомы олова и атомы теллура в несвойственных им положениях после цепочки радиоактивных распадов материнских ядер. Если использовать традиционную шкалу электроотрицательности химических элементов, то атомы олова и германия могут рассматриваться как представители металлов, тогда как атомы теллура являются представителями металлоидов (неметаллов). Таким образом, антиструктурные дефекты в структурной сетке стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ должны возникать в

результате стабилизации зонда ^{119m}Sn в узлах теллура и зонда ^{125}Te в узлах германия. Для идентификации структурных позиций атомов теллура в стеклах использовалась эмиссионная мессбауэровская спектроскопия на изотопах ^{129m}Te (^{129}I). Схемы распадов изотопов ^{119m}Sn , ^{119m}Te , ^{125}Sn , ^{125m}Te и ^{129m}Te приведены на рис. 1.

2. Методика эксперимента

Исходные компоненты сплавлялись в тонкостенных кварцевых ампулах, вакуумированных до 10^{-3} мм рт. ст. Расплавы весом 1 г выдерживались при 1050°C в течение 24 ч и затем закалялись в ледяную воду для получения стеклообразных образцов. Критериями стеклообразного состояния служили раковистый излом, рентгеноаморфность и отсутствие микровключений при просмотре шлифованных поверхностей с помощью металломикроскопа МИМ-7. Поскольку области стеклообразования в выбранных системах невелики, для получения однородных стекол были выбраны составы, находящиеся вблизи середины этих областей — $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$.

Изотопы ^{119m}Sn , ^{119m}Te , ^{125}Sn , ^{125m}Te и ^{129m}Te получали по реакциям $^{118}\text{Sn}(n, \gamma)^{119m}\text{Sn}$, $^{117}\text{Sn}(\alpha, 2n)^{119m}\text{Te}$, $^{124}\text{Te}(n, \gamma)^{125m}\text{Te}$, $^{124}\text{Sn}(n, \gamma)^{125}\text{Sn}$ и $^{128}\text{Te}(n, \gamma)^{129m}\text{Te}$. Мессбауэровские источники готовили путем сплавления стекол с радиоактивными препаратами ^{119m}Sn , ^{119m}Te , ^{125}Sn , ^{125m}Te и ^{129m}Te . Мессбауэровские спектры ^{119m}Sn , ^{125}Te и ^{129}I измерялись при 80 К с поглотителями $\text{Ca}^{119}\text{SnO}_3$ (поверхностная плотность по ^{119}Sn составляла 0.2 мг/см^2), Zn^{125}Te (поверхностная плотность по ^{125}Te составляла 2 мг/см^2) и K^{129}I (поверхностная плотность по ^{129}I составляла 10 мг/см^2) соответственно. Спектр поглотителя $\text{Ca}^{119}\text{SnO}_3$ с источником $\text{Ca}^{119m}\text{SnO}_3$ представлял собой одиночную

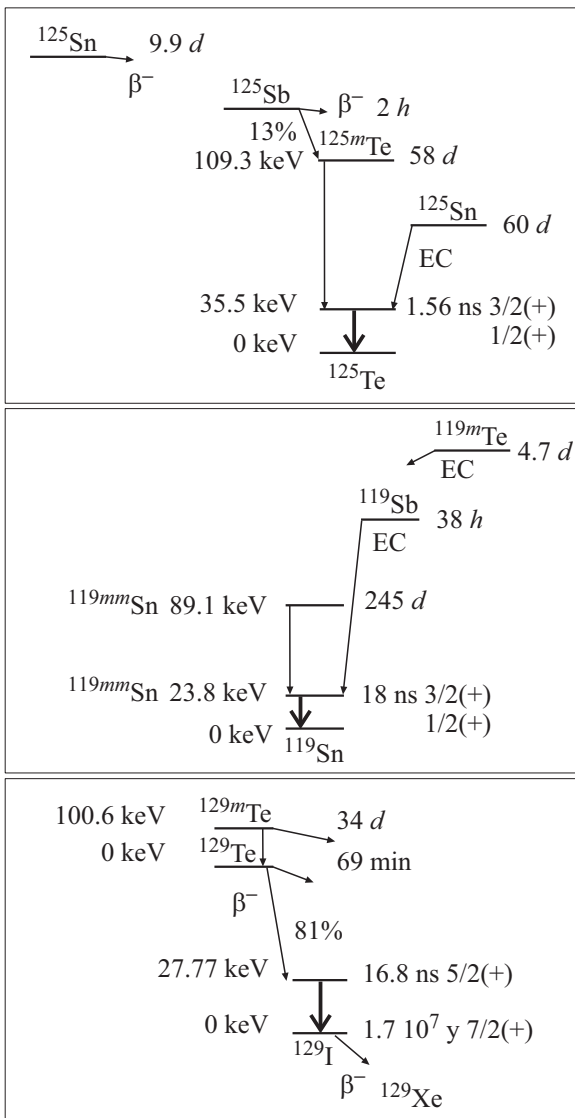


Рис. 1. Схемы распада ядер ^{125}Sn , ^{125m}Te , ^{119m}Sn , ^{119}Sb , ^{119m}Te и ^{129m}Te .

линию с шириной на полувысоте $G = 0.80(3)$ мм/с, которая принималась за аппаратную ширину спектральной линии (естественная удвоенная ширина ядерного уровня изомера ^{119m}Sn составляет 0.647 мм/с). Спектр поглотителя $\text{Zn}^{125m}\text{Te}$ с источником $\text{Zn}^{125m}\text{Te}$ имел ширину 6.10(9) мм/с, которая считалась аппаратной шириной (естественная удвоенная ширина ядерного уровня изомера ^{125}Te составляет 5.208 мм/с). Спектр поглотителя K^{129}I с источником $\text{Zn}^{129m}\text{Te}$ представлял собой одиночную линию с шириной на полувысоте $G = 1.10(3)$ мм/с, которая принималась за аппаратную ширину спектральной линии (естественная удвоенная ширина ядерного уровня изомера ^{129}I составляет 0.586 мм/с). Изомерные сдвиги мессбауэровских спектров ^{119m}Sn , ^{125}Te и ^{129}I приводятся относительно указанных выше поглотителей. Типичные спектры приведены на рис. 2–7, а их параметры сведены в таблице.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждения

3.1. Мессбауэровская спектроскопия на изотопе ^{119}Sn

Мессбауэровские спектры ^{119m}Sn стекол представляют собой либо одиночные уширенные линии, либо суперпозицию двух уширенных линий (ширина на полувысоте составляла $\sim 1.04\text{--}1.06$ мм/с). При обработке спектров предполагалось, что уширение спектров объясняется неоднородным изомерным сдвигом (см., например, [5,7,8]). Полученные значения изомерного сдвига IS и площадей под нормированным мессбауэровскими спектрами S сведены в таблице.

Поскольку атомы олова и германия находятся в главной подгруппе IV группы таблицы Менделеева и известно свойство атомов олова изовалентно замещать атомы германия в структурной сетке стекол [9], то ожидалось, что в случае материнских атомов ^{119m}Sn дочерний зонд ^{119m}Sn в стеклообразных сплавах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ должен оказаться в узлах германия. Как видно из рис. 2 и 4, мессбауэровские спектры ^{119m}Sn стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ с материнскими атомами ^{119m}Sn представляют собой одиночные линии с изомерными сдвигами IS $\sim 2.05\text{--}2.09$ мм/с (см. таблицу). Эти сдвиги близки к изомерному сдвигу мессбауэровского спектра ^{119}Sn серого олова (~ 2.05 мм/с [10]), в котором олово

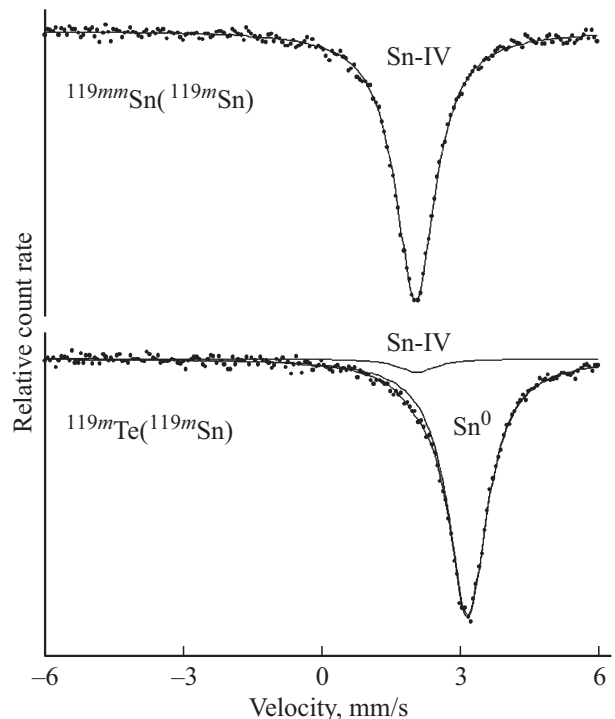


Рис. 2. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{119m}\text{Sn}(^{119m}\text{Sn})$ и $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ стеклообразного сплава $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$. Показано положение спектров, отвечающие центрам ^{119m}Sn в узлах германия (Sn–IV) и в узлах теллура (Sn 0).

Параметры эмиссионных мессбауэровских спектров ^{119m}Sn , ^{125}Te и ^{129}I стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$, $\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$ и кристаллического теллура

Состав	Изотопы	IS, мм/с	C, мм/с	S, отн. ед.	Локализация зонда
$\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$	$^{119m}\text{Sn}(^{119m}\text{Sn})$	2.05			^{119m}Sn в узлах Ge
$\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$	$^{119m}\text{Sn}(^{119m}\text{Sn})$	2.09			^{119m}Sn в узлах Ge
$\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$	$^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$	3.17		0.95	^{119m}Sn в узлах Te
		2.06		0.05	^{119m}Sn в узлах Ge
$\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$	$^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$	3.16		0.90	^{119m}Sn в узлах Te
		2.07		0.05	^{119m}Sn в узлах Ge
$\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$	$^{125}\text{Sn}(^{125}\text{Te})$	0.65	7.00		^{125}Te в узлах Ge
$\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$	$^{125}\text{Sn}(^{125}\text{Te})$	0.62	6.80		^{125}Te в узлах Ge
$\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$	$^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$	0.12	16.90		^{125}Te в узлах Te
$\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$	$^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$	0.22	16.70		^{125}Te в узлах Te
$\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$	$^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$	1.25	-17.6	0.15	^{129}I в узлах Te-I
		0.94	-23.8	0.85	^{129}I в узлах Te-II
$\text{As}_4\text{Ge}_{15}\text{Te}_{81}$	$^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$	1.23	-17.7	0.17	^{129}I в узлах Te-I
		0.97	-23.6	0.83	^{129}I в узлах Te-II
Te	$^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$	3.02	0.67		^{119}Sn в узлах Te
	$^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$	0.99	14.70		^{125}Te в узлах Te
	$^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$	1.15	-16.7		^{129}I в узлах Te

Примечание. IS — изомерный сдвиг спектров (погрешности в определении для изотопов ^{119m}Sn , ^{125}Te и ^{129}I составляют ± 0.01 , ± 0.06 и ± 0.02 мм/с соответственно); C — постоянная квадрупольного взаимодействия (погрешности в определении для изотопов ^{125}Te и ^{129}I составляют ± 0.09 и ± 0.04 мм/с соответственно); S — площадь под нормированным мессбауэровским спектром (погрешности в определении для изотопов ^{119m}Sn и ^{129}I составляют ± 0.02 и ± 0.05 соответственно).

образует тетраэдрическую систему химических связей (на рис. 2 и 4 это состояние олова обозначено как Sn-IV). Поскольку, согласно рентгеноструктурным данным [11], германий в стеклообразных сплавах $\text{Ge}_{1-x}\text{Te}_x$ образует тетраэдрическую систему связей, можно утверждать, что в стеклах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ олово, как и ожидалось, изовалентно замещает четырех координированный германий, повторяя структуру его химических связей, и образует структурный дефект замещения.

В случае материнских атомов ^{119m}Te дочерний зонд ^{119m}Sn в стеклообразных сплавах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ *a priori* должен оказаться в узлах теллура, т.е. должен представлять собой антиструктурный дефект. Мессбауэровские спектры ^{119m}Sn стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ с материнскими атомами ^{119m}Te (рис. 2 и 4) представляют собой суперпозицию двух одиночных линий различной интенсивности (см. таблицу). Менее интенсивная линия отвечает атомам ^{119m}Sn , смещенным из узлов теллура в узлы германия вследствие энергии отдачи, возникающей при радиоактивном распаде материнских атомов теллура (доля таких атомов согласно [1–4,6], не превышает 0.1). Изомерный сдвиг этой линии соответствует состоянию Sn-IV (см. таблицу). Более интенсивные линии в этих

спектрах имеют изомерный сдвиг $IS \sim 3.16$ мм/с, который соответствует изомерным сдвигам мессбауэровских спектров интерметаллических соединений олова (~ 2.30 – 3.20 мм/с [10]). На рис. 2 и 4 это состояние олова обозначено как Sn⁰.

Информацию о числе структурно неэквивалентных позиций теллура и их локальной симметрии в стеклах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ можно получить с использованием эмиссионной мессбауэровской спектроскопии на изотопах $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$. Как видно из рис. 6, мессбауэровские спектры ^{129}I с материнскими атомами ^{129m}Te стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ представляют собой суперпозицию двух квадрупольных мультиплетов, различающихся как по интенсивности, так и по величине постоянной квадрупольного взаимодействия $C = eQU_{zz}$ (здесь e — заряд электрона, Q — квадрупольный момент ядра-изомера мессбауэровского изотопа, U_{zz} — главная компонента тензора градиента электрического поля на ядре) (см. таблицу). Иными словами, в стеклах локальная симметрия атомов теллура ниже кубической и теллур занимает две структурно неэквивалентные позиции Te-I и Te-II, причем чем меньше величина C для позиции теллура, тем меньше ее заселенность.

В связи с этим следует отметить, что, согласно мессбауэровским спектрам $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ тех же стекол (см. рис. 2 и 4), примесные атомы олова занимают единственную позицию в структурной сетке стекол с кубической симметрией своего локального окружения. Иными словами, имеется очевидное противоречие данных мессбауэровской спектроскопии на изотопах

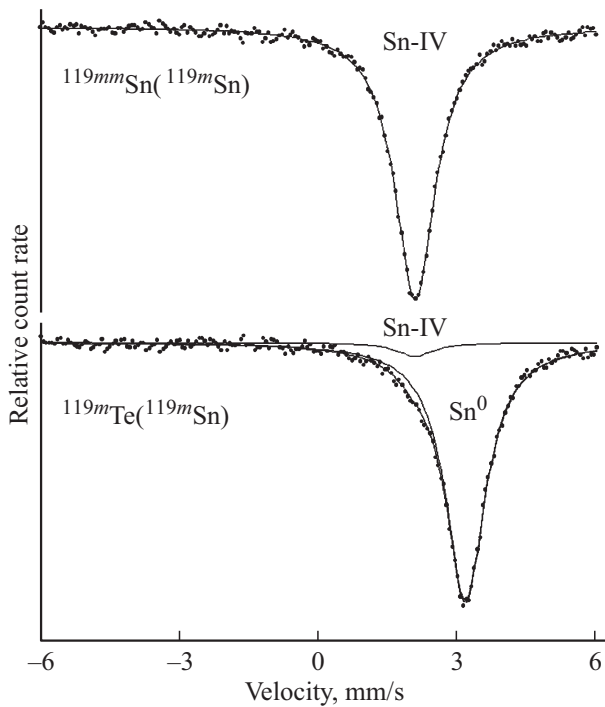


Рис. 3. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{119m}\text{Sn}(^{119m}\text{Sn})$ и $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ стеклообразного сплава $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$. Показано положение спектров, отвечающее центрам ^{119m}Sn в узлах германия (Sn–IV) и в узлах теллура (Sn^0).

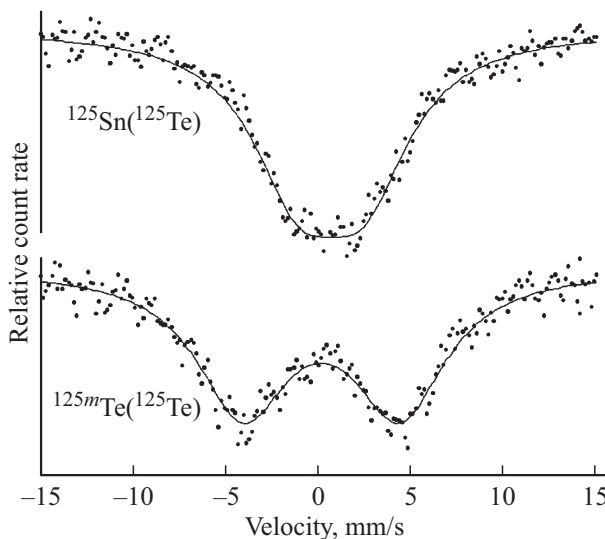


Рис. 4. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{125}\text{Sn}(^{125}\text{Te})$ и $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$ стеклообразного сплава $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$.

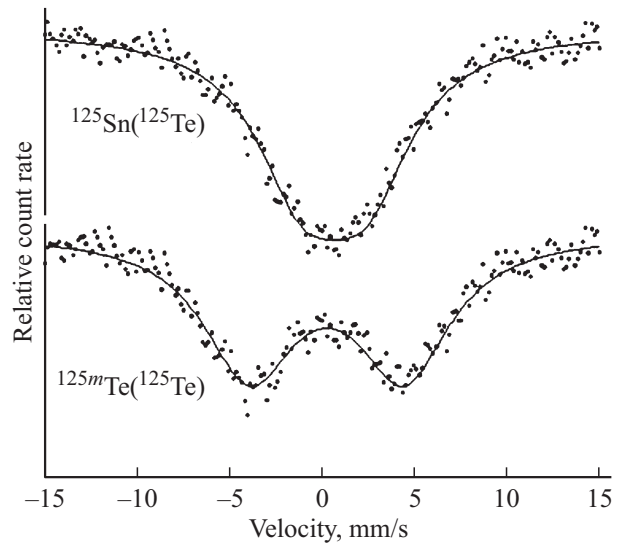


Рис. 5. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{125}\text{Sn}(^{125}\text{Te})$ и $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$ стеклообразного сплава $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$.

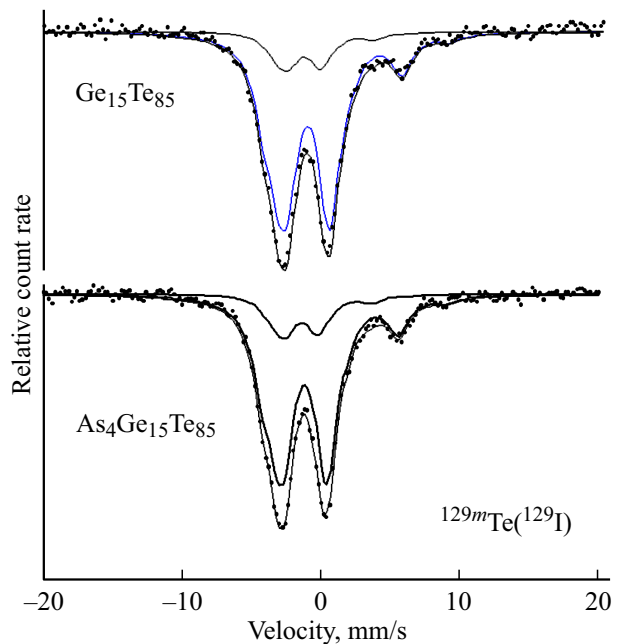


Рис. 6. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$ стеклообразных сплавов $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$. Показано разложение экспериментальных спектров на два квадрупольных мультиплета, отвечающих двум структурно неэквивалентным центрам теллура Te–I (менее интенсивный мультиплет) и Te–II (более интенсивный мультиплет).

$^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ и $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$. Это может быть следствием различного характера перестроения локального окружения узла структурной сетки стекла при заселении его конкретным мессбауэровским зондом. Поскольку составы исследованных стекол обогащены теллуром, то для иллюстрации возможности возникновения описанной выше ситуации были измерены мессбауэровские спек-

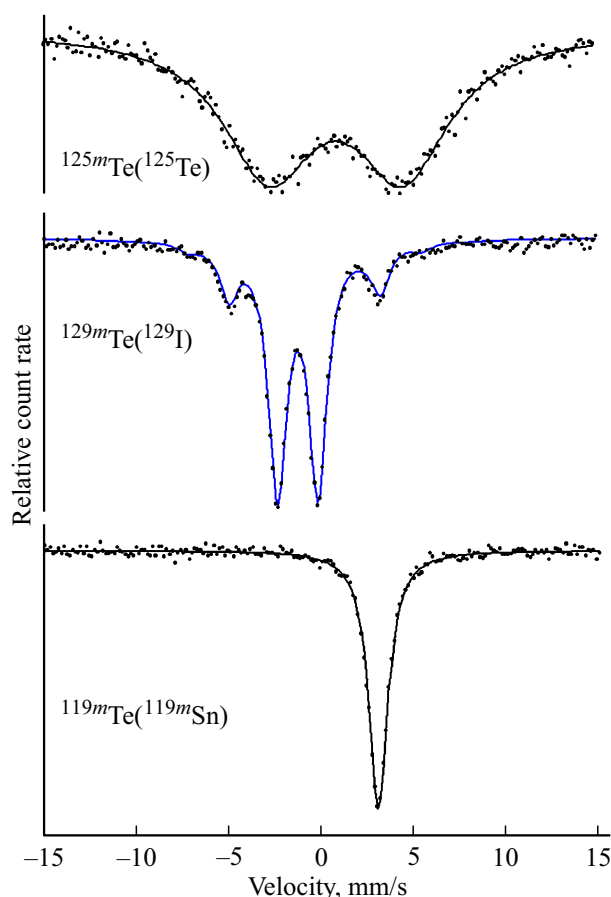


Рис. 7. Эмиссионные мессбауэровские спектры $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$, $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$ и $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ элементарного теллура. Сплошными линиями представлены расчетные спектры для случая единственного состояния атомов теллура.

тры элементарного теллура с использованием изотопов $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$, $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$ и $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ (см. рис. 7, параметры спектров сведены в таблице). Мессбауэровский спектр ^{119m}Sn с материнскими атомами ^{119m}Te представляет собой уширенную одиночную линию, тогда как спектры ^{125}Te (с материнскими атомами ^{125m}Te) и ^{129}I (с материнскими атомами ^{129m}Te) демонстрируют типичную картину квадрупольного расщепления (различие в тонкой структуре этих спектров объясняется различием спинов ядер ^{125}Te и ^{129}I). Нет сомнений, что во всех случаях материнские атомы (^{119m}Te , ^{125m}Te и ^{129m}Te) занимают узлы решетки теллура и что подавляющая часть дочерних атомов (^{119m}Sn , ^{125}Te и ^{129}I) не покидают эти узлы. Однако различие структуры мессбауэровских спектров указывает на различие в локальной симметрии узлов теллура, занятых зондами ^{125}Te , ^{129}I или ^{119m}Sn . В частности, мессбауэровские спектры $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$ и $^{129m}\text{Te}(^{129}\text{I})$ однозначно свидетельствуют о некубичности локальной симметрии узлов теллура, занятых зондами ^{125}Te и ^{129}I . Это согласуется с рентгеноструктурными данными [12] и указывает на неизменность локальной структуры узлов теллура при их замещении месс-

бауэровскими зондами ^{125}Te и ^{129}I . В то же время мессбауэровский спектр $^{119m}\text{Te}(^{119m}\text{Sn})$ отвечает кубической симметрии узлов, занятых зондом ^{119m}Sn . Иными словами, образование антиструктурного дефекта при замещении атома-металлоида (Te) примесным атомом-металлом (Sn) в структуре элементарного теллура сопровождается перестроением локального окружения узлов теллура. Очевидно, что аналогичная ситуация возникает и при радиоактивном распаде атомов ^{119m}Te в стеклах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ — при замещении узлов теллура (металлоид) оловом (металл) происходит перестроение локальной структуры как узлов Te-I, так и узлов Te-II с образованием антиструктурного дефекта олова.

3.2. Мессбауэровская спектроскопия на изотопе ^{125}Te

В зависимости от химической природы материнских атомов (^{125m}Te или ^{125}Sn) мессбауэровский зонд ^{125}Te может оказаться либо в узлах германия (материнские атомы ^{125}Sn должны изовалентно замещать атомы германия, так что зонд ^{125}Te будет представлять собой антиструктурный дефект), либо в узлах теллура (материнские атомы ^{125m}Te естественным образом находятся в узлах теллура).

Как видно из рис. 3 и 5, мессбауэровские спектры ^{125}Te стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ с материнскими атомами ^{125}Sn представляют собой одиночные несколько уширенные линии с близкими значениями изомерных сдвигов ($\text{IS} \sim 0.62\text{--}0.67$ мм/с). Если использовать полученные выше результаты на изотопах $^{119m}\text{Sn}(^{119m}\text{Sn})$ в стеклах $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$, можно считать, что примесные центры теллура ^{125}Te , возникающие после распада материнских атомов ^{125}Sn , находятся в узлах германия (образуется антиструктурный дефект теллура) и, следовательно, зонд ^{125}Te образует химические связи только с атомами теллура, что объясняет близость изомерных сдвигов указанных выше спектров с изомерным сдвигом спектра $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$ элементарного теллура (см. таблицу). Однако следует отметить, что мессбауэровский спектр $^{125m}\text{Te}(^{125}\text{Te})$ элементарного теллура представляет собой квадрупольный дублет (рис. 7), тогда как спектры $^{125}\text{Sn}(^{125}\text{Te})$ стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ — уширенные синглеты. Иными словами, симметрия локального окружения атомов ^{125}Te в элементарном теллуре и в узлах стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ различны. Это и следовало ожидать, поскольку структура элементарного теллура представляет собой винтообразные бесконечные цепи, составленные из атомов двухкоординированного теллура [12], тогда как в узлах германия стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ локальное окружение атомов ^{125}Te хотя и представлено атомами теллура (как в металлическом теллуре), но оно является октаэдрическим, что было продемонстрировано выше на примере зонда ^{119m}Sn , образовавшегося после

распада материнских атомов ^{119m}Te в узлах теллура стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$.

Мессбауэровские спектры ^{125}Te с материнскими атомами ^{125m}Te стекол $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ (рис. 3 и 5) представляют собой квадрупольные дублеты ($S \sim 17$ мм/с) с близкими значениями изомерных сдвигов ($IS \sim 0.66$ мм/с). Поскольку в стеклах примесные центры теллура ^{125}Te , возникающие после распада материнских атомов ^{125m}Te , находятся только в узлах теллура, то мессбауэровские спектры несут информацию о локальном окружении атомов теллура: в большинстве случаев зонд ^{125}Te образует химические связи с атомами теллура, а симметрия локального окружения центров ^{125}Te оказывается близкой к симметрии окружения теллура в элементарном теллуре.

4. Заключение

Распад радиоактивных материнских атомов ^{119m}Sn , ^{119m}Te , ^{125}Sn и ^{125m}Te в узлах структурной сетки стеклообразных сплавов $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ и $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ сопровождается стабилизацией как структурных дефектов (в виде примесных атомов олова в узлах германия), так и в виде антиструктурных дефектов (в виде примесных атомов олова в узлах теллура и примесных атомов теллура в узлах германия). Изовалентное замещение атомов германия атомами олова не изменяет структуру ближнего порядка узлов германия, тогда как атомы олова и теллура в несвойственных для них позициях перестраивают локальное окружение занимаемых ими структурных позиций.

Список литературы

- [1] Z. Jiawei, L. Bolin, C. Gang. *Semicond. Sci. Techn.*, **31**, 043001 (2016).
- [2] H. Overhof, J.-M. Spaeth. *Phys. Rev. B*, **72**, 115205 (2005).
- [3] N.P. Seregin, P.P. Seregin, S.A. Nemov, A.Yu. Yanvareva. *J. Phys.: Condens. Matter*, **15**, 7591 (2003).
- [4] С.А. Немов, П.П. Серегин, С.М. Иркаев, Н.П. Серегин. *ФТП*, **37**, 279 (2003).
- [5] Г.А. Бордовский, П.В. Гладких, М.Ю. Кожокар, А.В. Марченко, П.П. Серегин, Е.И. Теруков. *ФТП*, **44**, 1012 (2010).
- [6] Г.А. Бордовский, С.А. Немов, А.В. Марченко, А.В. Зайцева, М.Ю. Кожокар, П.П. Серегин. *ФТП*, **45**, 437 (2011).
- [7] Г.А. Бордовский, А.Ю. Дашина, А.В. Марченко, П.П. Серегин, Е.И. Теруков. *ФТП*, **45**, 801 (2011).
- [8] Г.А. Бордовский, М.Ю. Кожокар, А.В. Марченко, А.С. Налетко, П.П. Серегин. *ФТГ*, **54**, 1276 (2012).
- [9] А.В. Марченко, Е.И. Теруков, П.П. Серегин, А.Н. Раснюк, В.С. Киселев. *ФТП*, **50**, 893 (2016).
- [10] А.В. Марченко, П. Серегин. *Эмиссионная мессбауэровская спектроскопия. Примеси и радиационные дефекты в полупроводниках*. (Saarbrücken, Verlag, Palmarium Academic Publishing, 2014).
- [11] F. Betts, A. Bienenstock, S.R. Ovshinsky. *Non-Cryst. Sol.*, **4**, 554 (1970).
- [12] S. Kim, P. Boolchand. *Phys. Rev. B*, **19**, 3187 (1979).

Редактор Г.А. Оганесян

Antistructural defects in semiconductor glasses Ge–Te and Ge–As–Te

A.V. Marchenko¹, P.P. Seregin¹, E.I. Terukov², K.B. Shakhovich¹

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 191186 St. Petersburg, Russia

² Ioffe Institute, 194021 St. Petersburg, Russia

Abstract Using the method of emission Mossbauer spectroscopy on the isotopes ^{119m}Sn (^{119m}Sn), ^{119m}Te (^{119m}Te), ^{125}Sn (^{125}Te) and ^{125m}Te (^{125}Te) was demonstrated the formation of antistructural defects in vitreous alloys at the tellurium sites $\text{Ge}_{20}\text{Te}_{80}$ and $\text{Ge}_{15}\text{As}_4\text{Te}_{81}$ and tellurium atoms at the germanium sites. It is shown that the isovalent replacement of germanium atoms by tin atoms does not change the symmetry of the local environment of the germanium sites, whereas the tin and tellurium atoms in their non-native positions rearrange their local environment.