

Зависимость спектров фотолюминесценции эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) от условий выращивания

© Д.А. Пашкеев[¶], Ю.Г. Селиванов, F. Felder[†], И.И. Засавицкий

Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
119991 Москва, Россия

[†] Thin Film Physics Group, Laboratory for Solid State Physics, Swiss Federal Institute of Technology (ETH),
CH-8005 Zürich, Switzerland

(Получена 8 декабря 2009 г. Принята к печати 14 декабря 2009 г.)

Изучались спектры фотолюминесценции твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) при низких температурах. Эпитаксиальные слои выращивались методом молекулярно-лучевой эпитаксии при различных температурах. В спектрах помимо основной линии, соответствующей межзонной излучательной рекомбинации, с низкоэнергетической стороны наблюдались дополнительные линии излучения. На поверхности образцов (менее 1% от общей площади) обнаружены неоднородности, концентрация и размер (1–10 мкм) которых уменьшаются с увеличением температуры роста. Дополнительные линии излучения связываются с локальными неоднородностями в слое. Определена зависимость ширины запрещенной зоны $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) от состава при 77.4 К, которая является нелинейной и выражается соотношением $E_g[\text{эВ}] = 0.213 + 4.8x - 18.4x^2$.

1. Введение

На основе полупроводников типа IV–VI успешно разрабатываются инжекционные лазеры для области спектра 3–40 мкм и приемники излучения для инфракрасной (ИК) области спектра. Улучшение характеристик таких приборов связано с использованием гетероструктур. Однако гетеропереходы на основе полупроводников IV–VI имеют небольшие энергетические разрывы между зонами. С целью увеличения разрывов зон применяются твердые растворы с добавлением редкоземельных и щелочноземельных элементов, которые позволяют резко увеличивать ширину запрещенной зоны (E_g). Это дает возможность создавать полупроводниковые гетероструктуры с эффективным электронным и оптическим ограничением [1].

В частности представляет интерес твердый раствор PbEuTe . Он состоит из узкозонного диамагнитного (PbTe , $E_g \approx 0.2$ эВ) и широкозонного антиферромагнитного (EuTe , $E_g \approx 2.0$ эВ) материалов, кристаллизующихся в кубическую структуру типа NaCl. При образовании твердого раствора на их основе удается сильно изменять E_g даже при небольшом изменении состава, причем зависимость E_g от содержания Eu в твердом растворе получается нелинейной. Кроме того, большое различие в показателях преломления PbTe ($n \approx 6$) и EuTe ($n \approx 2$) обеспечивает большой оптический контраст между материалами и делает эту пару перспективной для оптоэлектронных применений, в частности для высокоотражающих брэгговских зеркал для ИК области спектра [2–5].

В данной работе изучались спектры фотолюминесценции (ФЛ) эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) при низких температурах. Было обнаружено, что помимо основной линии, соответствующей межзонной излучательной рекомбина-

ции, с низкоэнергетической стороны наблюдались дополнительные линии излучения. Наблюдение образцов в оптический и электронный микроскопы показало, что на их поверхности имеются неоднородности в виде капель (< 1 мкм), сконцентрированных в небольших областях (~ 20 мкм), общая площадь которых составляет не более 1% от площади образца. При увеличении температуры роста (t_g) от 300 до 400 °C интенсивность дополнительных линий и количество неоднородностей уменьшаются, и при $t_g > 420$ °C они не наблюдаются.

2. Методика и техника эксперимента

Эпитаксиальные слои $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках (111)BaF₂ или (111)Si с буферным слоем из CaF₂/BaF₂ при температурах от 320 до 460 °C. Характеристики образцов приведены в таблице, где указаны состав твердого раствора, подложка, температура роста, толщина слоя (d) и значения E_g , полученные нами при 77 К из спектров ФЛ и фотопроводимости (ФП). Измерения спектров ФЛ проводились при температурах $T = 77.4$ и 4.2 К. Образцы с приблизительными размерами 3×3 мм устанавливались на медный держатель, расположенный непосредственно в хладагенте. До и после проведения измерений эпитаксиальные слои наблюдались в оптическом (металлографическом) и электронном микроскопах. Возбуждение осуществлялось с помощью YLF-лазера с длиной волны излучения 1.053 мкм (длительность импульса 10 нс, частота повторения 170 Гц). Диаметр пятна, в которое фокусировалось лазерное излучение на поверхности образца, составлял ~ 0.3 мм. Измерялись интенсивность и спектр излучения для различных точек на образце путем сканирования лазерным лучом по его поверхности. Спектры анализировались с помощью решеточного монохроматора

[¶] E-mail: pashkeev@sci.lebedev.ru

Характеристики эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$

x	Подложка	$t_g, ^\circ C$	d, мкм	$E_g, \text{эВ}$	
				ФЛ, 77 К	ФП, 80 К
0	(111)BaF ₂	350	2	0.213	0.214
0.014	(111)BaF ₂	350	2.2	0.28	0.29
0.027	(111)BaF ₂	370	3	0.34	0.36
0.035	(111)BaF ₂	370	1.75	0.36	0.37
0.051	(111)BaF ₂	320	1	0.42	0.42
0.063	(111)BaF ₂	422	1.93	0.44	0.45
0.067	(111)BaF ₂	320	2.14	0.43	0.44
0.073	(111)BaF ₂	385	1.86	0.46	0.47
0.086	(111)BaF ₂	400	1.81	0.48	0.47
0.091	(111)BaF ₂	370	7.61	0.50	0.51
0.06	(111)Si	420	0.55	0.44	0.45
0.065	(111)Si	320	0.5	0.46	0.48

ИКМ-731 (150 штр/мм) и приемника ИК излучения на основе Ge : Au. Энергетическое разрешение составляло 2–3 мэВ.

3. Результаты измерений

Спектры ФЛ твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ отличаются от спектра исходного бинарного соединения PbTe, который состоит из одной асимметричной линии, соответствующей ширине запрещенной зоны данного материала. Поскольку при добавлении Eu значение E_g материала резко увеличивается, спектры излучения $Pb_{1-x}Eu_xTe$ смещены в коротковолновую сторону. При этом они имеют более сложный вид, зависящий от технологии выращивания. Проанализируем спектры ФЛ при 77 К эпитаксиальных слоев $Pb_{1-x}Eu_xTe$, полученных при различных температурах роста. Содержание Eu в твердом растворе и толщину слоев зафиксируем: $x \approx 0.07$ и $d \approx 2$ мкм.

В спектрах ФЛ эпитаксиального слоя, выращенного при $t_g = 320^\circ C$, наблюдались две линии излучения с максимумами при энергиях 0.43 и 0.22 эВ и группа дискретных линий в окрестности 0.37 эВ (рис. 1). Интенсивность, форма и количество линий в спектре изменяются в зависимости от точки возбуждения лазерным лучом на поверхности образца. Линия при 0.43 эВ (кривая 1) является узкой (ширина на половине максимума интенсивности 5 мэВ), с небольшой асимметрией, ее интенсивность изменяется примерно в 5 раз от точки к точке возбуждения. Она соответствует излучательным переходам между зоной проводимости и валентной зоной твердого раствора данного состава, и поэтому в дальнейших рассуждениях примем ее за основную, а все остальные линии — за дополнительные. В спектре 2 присутствует линия при 0.22 эВ, она имеет независимо от точки возбуждения асимметричную форму с резким длинноволновым краем и ширину ~ 10 мэВ.

Линия по своему расположению и форме близка к спектру излучения PbTe, и ее интенсивность в 2–3 раза меньше интенсивности основной линии. Она наблюдалась только на образцах, выращенных при температуре $t_g = 320^\circ C$, самой низкой в нашем случае. Группа линий, расположенных в окрестности 0.37 эВ, меняется по количеству линий, интенсивности и форме в зависимости от точки возбуждения. Следует отметить, что группа существует в спектрах только вместе с основной линией, отдельно ее обнаружить не удалось (спектры 3 и 4). Эта группа представляет собой набор дискретных узких линий в указанной области, охватывающей до 50 мэВ, либо одну широкую полосу произвольной формы, которая, возможно, соответствует такому же набору узких линий, не разрешенных спектральным прибором. Спектром 5 представлена ситуация, когда сосуществуют все линии: основная и дополнительная линии, а также линия PbTe.

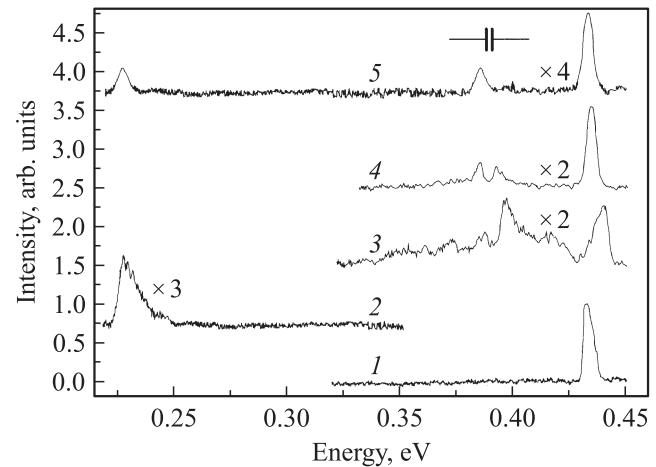


Рис. 1. Спектры ФЛ эпитаксиального слоя твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($x = 0.067$) на подложке BaF₂ при 77 К. (1–5) — спектры, полученные для различных точек образца. Температура роста $t_g = 320^\circ C$.

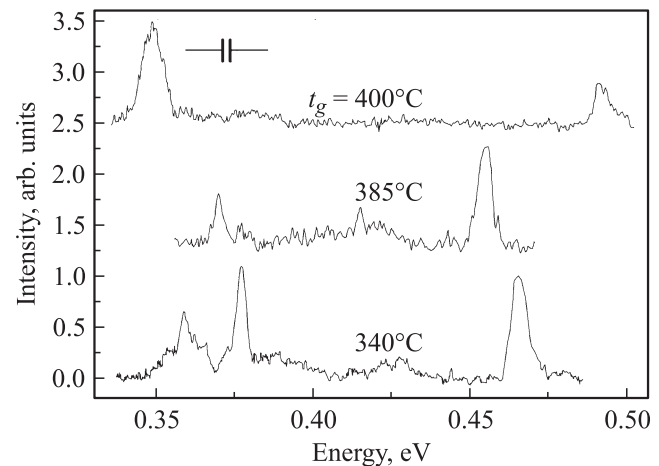


Рис. 2. Спектры ФЛ эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($x \approx 0.07$) на подложках BaF₂ при 77 К. Температура роста $t_g = 340, 385$ и $400^\circ C$.

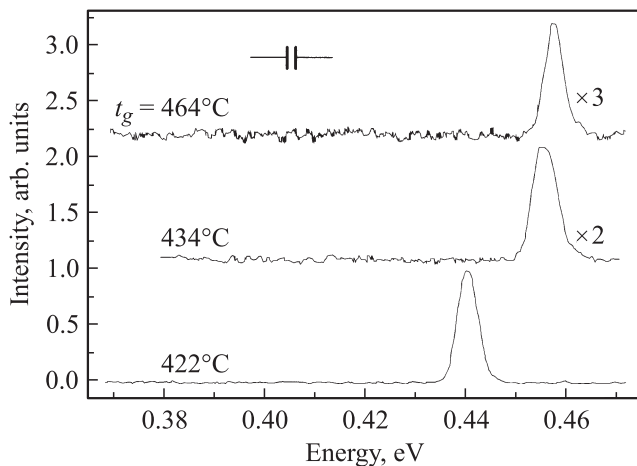


Рис. 3. Спектры ФЛ эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($x \approx 0.07$) на подложках BaF_2 при 77 К. Температура роста $t_g = 422, 434$ и $464^\circ C$.

Спектры образцов, выращенных при температурах 340 и $385^\circ C$, состоят из основной и группы дополнительных линий (рис. 2). Основная линия для всех слоев одинакова (в пределах изменения состава), а дополнительные линии по расположению и форме похожи на дополнительную группу линий для слоя, полученного при $t_g = 320^\circ C$. Так же как и для этого образца, на образцах с $t_g = 340$ и $385^\circ C$ при сканировании пятном возбуждения наблюдалась отдельно только основная линия, а группа дополнительных видна была только при наличии основной.

При оптимизации условий выращивания и повышения t_g до $400^\circ C$ группа дополнительных линий, наблюдаемых на образцах с низкими температурами роста, исчезает и остается только одна линия в той же области спектра. Следует отметить, что для разных точек возбуждения были получены спектры, в которых, в отличие от образцов с $t_g < 400^\circ C$, наблюдалась отдельно или одна основная, или одна дополнительная линия, а также ситуация, когда они сосуществуют (спектр с $t_g = 400^\circ C$). Отношение интенсивностей основной и дополнительной линий в зависимости от точки измерения изменяется от 3 до 5 раз.

На рис. 3 показаны спектры ФЛ образцов, выращенных при более высоких температурах: $t_g = 422, 434$ и $464^\circ C$. Для данных эпитаксиальных слоев и в независимости от точки измерения на образце в спектрах наблюдалась только одна основная линия, соответствующая составу твердого раствора. Интенсивность линий при измерениях в разных точках одного образца изменялась не более чем в 2 раза. Она падает с увеличением температуры роста эпитаксиального слоя, что можно видеть на рисунке.

Рассмотренные выше образцы были выращены на подложках BaF_2 . Также были проведены измерения спектров ФЛ образцов, выращенных на кремниевых

подложках с буферным слоем (рис. 4). Как и в случае с образцами на подложке BaF_2 , при изменении условий роста эпитаксиальных слоев изменяется и характер спектров. На образцах с низкой температурой роста ($t_g = 320^\circ C$) наблюдались основная и несколько дополнительных линий. При увеличении температуры и достижении оптимальных условий роста в спектре остается одна основная линия, асимметричная с резким длинноволновым краем ($t_g = 420^\circ C$). Для сравнения на этом же рисунке приведен спектр излучения эпитаксиального слоя на BaF_2 , условия и температура роста ($t_g = 320^\circ C$) которого такие же, как для одного из образцов на Si.

Кроме того, были специально выращены слои $Pb_{1-x}Eu_xTe/BaF_2$ с несколько большим содержанием Eu и большей толщиной. На рис. 5 показаны спектры ФЛ

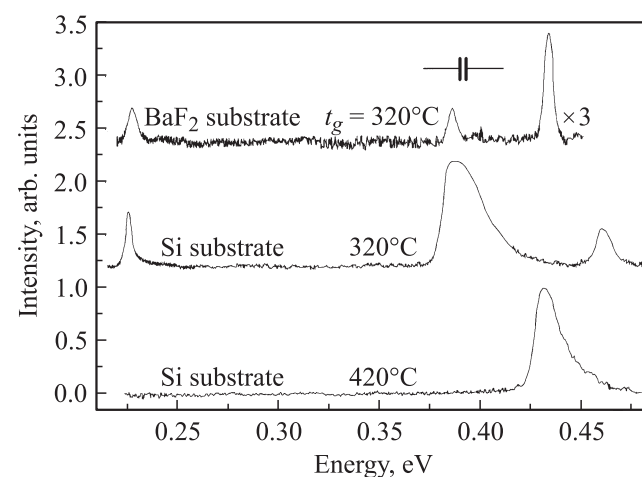


Рис. 4. Спектры ФЛ эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($x \approx 0.07$) на подложках (111)Si с буферным слоем ($t_g = 420$ и $320^\circ C$) и (111) BaF_2 ($t_g = 320^\circ C$). Температура измерения 77 К.

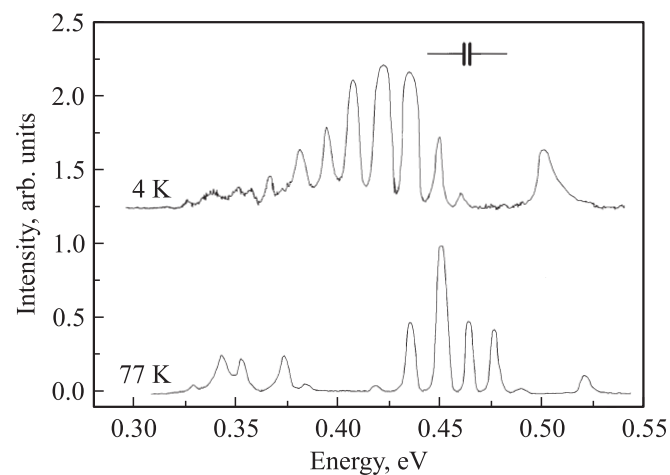


Рис. 5. Спектры ФЛ эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($x = 0.09$) на подложках BaF_2 . Температура роста $t_g = 370^\circ C$, толщина слоя $d = 7.6$ мкм. Температуры измерения 4 и 77 К.

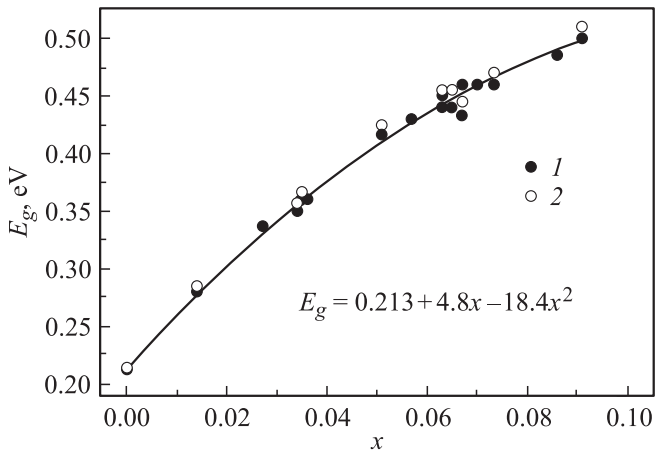


Рис. 6. Зависимость ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$: 1 — метод ФЛ, температура измерения 77 К; 2 — метод ФП, температура измерения 80 К.

образца с $x = 0.09$ и $d = 7.6$ мкм при гелиевой и азотной температурах. Видно, что ширина дополнительной полосы больше, чем для других образцов, а дискретные линии в ней хорошо разрешены. При понижении температуры от 77 до 4 К весь спектр излучения сдвигался в длинноволновую сторону, линии проявлялись лучше и интенсивность излучения увеличивалась. Оказалось, что расстояние между дополнительными линиями составляет $\sim 110 \text{ см}^{-1}$ при 77 К, а их положение совпадает с пиками интерференционной картины как в спектре пропускания, полученного на том же образце с помощью фурье-спектрометра, так и в спектре фотопроводимости.

При изучении образцов с помощью металлографического микроскопа на их поверхности были обнаружены неоднородности. Они имели вид областей с характерным размером ~ 20 мкм, в которых сконцентрированы небольшие „капли“, размером ~ 1 мкм. Размер капель и их количество изменяются при изменении технологических условий роста. С увеличением температуры роста количество и размер таких областей уменьшается, при этом капли внутри области увеличиваются и видна тенденция к их объединению. При температуре роста $t_g > 400^\circ\text{C}$ неоднородности не наблюдаются. Отношение суммарной площади областей с каплями к площади поверхности самого образца не превышает 1%.

Измерения состава твердого раствора проводились с помощью растрового электронного микроскопа Supra 50 VP, оборудованного рентгеновским микроанализатором с энергетической дисперсией INCA Energy. Пространственное разрешение, достигаемое с помощью электронного пучка, составляет ~ 1 мкм, однако имеет место растекание носителей заряда, зависящее от компонентов материала. В нашем случае диаметр пятна, порождающего характеристическое излучение, составляет ~ 5 мкм. Поэтому измерить состав внутри капли не удастся, но из измерений в областях их скопления

можно сделать вывод о том, что содержание Eu в них меньше, чем в основной области образца.

По положению основной линии излучения, соответствующей излучательным переходам между зоной проводимости и валентной зоной твердого раствора, можно построить зависимость ширины запрещенной зоны от состава. На рис. 6 точками 1 показаны экспериментальные значения E_g при температуре 77 К для твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($0 \leq x \leq 0.1$), полученные из спектров ФЛ. Данная зависимость является нелинейной и аппроксимируется выражением вида $E_g[\text{эВ}] = 0.213 + 4.8x - 18.4x^2$. Для сравнения приведены значения E_g , определенные по спектрам ФП образцов при температуре 80 К.

4. Обсуждение результатов

Причиной появления низкоэнергетических полос излучения могут быть локализованные состояния Eu, кластеризация атомов Eu или образование локальных областей твердого раствора другого состава, а наблюдаемая дискретность спектров излучения и фотопроводимости в толстых слоях, по-видимому, обусловлена интерференцией.

Природа наблюдаемых дополнительных дискретных линий излучения в твердом растворе $Pb_{1-x}Eu_xTe$ обсуждалась в работе [6]. В ней предполагалось, что при относительно малых содержаниях Eu ($x < 0.1$) ширина запрещенной зоны твердого раствора определяется переходами между $5p$ -состояниями Te^{2-} (общая валентная зона L_6^+) и гибридованными состояниями зоны проводимости L_6^+ с возбужденными $5d$ -состояниями Eu. При лазерном возбуждении электроны переходят в смешанную (гибридованную) зону проводимости как из валентной зоны, так и с локализованных $4f^7$ -уровней Eu. После их термализации в смешанной зоне проводимости происходит излучательная рекомбинация как в валентную зону (основная линия), так и на расщепленный мультиплет nF_j (дополнительные линии).

Однако, как показали дальнейшие эксперименты, наличие таких дополнительных линий зависит от точки лазерного возбуждения на образце и условий роста эпитаксиального слоя, а на поверхности образцов были обнаружены неоднородности. Наиболее вероятными представляются локальные неоднородности типа флуктуаций состава, возникающие из-за поверхностной диффузии атомов во время роста эпитаксиального слоя. При неоптимальных температурах роста время диффузии атомов велико и дефектность такого типа может быть существенной, что приводит к появлению широкой группы дискретных дополнительных линий излучения. С увеличением температуры увеличивается скорость диффузии, что снижает вероятность флуктуации состава и приводит к снижению интенсивности дополнительных линий, их постепенному исчезновению и к однородности образца по всей поверхности.

На образцах с большой толщиной (5–7 мкм) наблюдается большое количество (до 15) хорошо разрешенных дополнительных линий излучения с расстоянием между ними 110 см^{-1} (рис. 5). Положение пиков соответствует наблюдаемому в интерференционной картине спектров пропускания. Действительно, при прохождении излучения в слое расчетное спектральное расстояние между пиками составляет $\Delta k = 1/2nd = 117 \text{ см}^{-1}$ (при $n = 5.6$ и $d = 7.6 \text{ мкм}$), что свидетельствует о наличии интерференции сигнала в слое, которая при такой толщине образца и широкой дополнительной линии хорошо видна в спектрах излучения. Однако в случае интерференции остается неясной высокая добротность материала, приводящая к минимумам пропускания, близким к нулю.

Таким образом, наблюдаемые дискретные линии излучения можно объяснить наличием локальных областей с различным содержанием Eu. Эпитаксиальный слой твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ в основном однороден по составу, но имеет небольшие включения материала с меньшим содержанием Eu, что подтверждается оценками суммарной площади неоднородностей (менее 1% от общей площади) и результатами сканирования лазерного луча по поверхности образца. При увеличении x ширина и интенсивность дополнительной полосы (линий) увеличивается, расширяясь в низкоэнергетическую сторону спектра. Такое поведение может объясняться образованием разных фаз материала при низких температурах роста, хотя нельзя исключить и модель переходов на локализованные состояния Eu [6]. Возможна, например, кластеризация или сегрегация в слое при низких температурах роста. Для понимания природы данных линий необходимо дальнейшее изучение материала, в частности методом микрофотolumинесценции с пространственным разрешением не хуже 10 мкм.

Следует отметить, что на основе эпитаксиальных слоев $\text{Pb}_{0.94}\text{Eu}_{0.06}\text{Te}$ и EuTe , выращенных при низких температурах, были изготовлены трехпериодные брэгговские зеркала на средний ИК диапазон. В спектрах пропускания зеркал, измеренных с помощью фурье-спектрометра, не было обнаружено каких-либо особенностей, а коэффициент отражения зеркал в области 5–6 мкм составил 99.9%. Таким образом, небольшая доля наблюдаемых неоднородностей по сравнению с общей площадью образца не вносит существенного искажения в свойства получаемых зеркал. Следует упомянуть, что такие же высококачественные брэгговские зеркала были получены при низких температурах роста в работе [7].

В работе [8] из первых принципов авторами рассчитана зависимость ширины запрещенной зоны от состава для твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Se}$ ($0 \leq x \leq 1$). Была получена нелинейная зависимость $E_g(x)$, но для составов с $x \leq 0.13$ вклад локализованных $4f^7$ -состояний Eu незначителен, и в этом диапазоне зависимость [8] остается линейной функцией. В случае $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ нелинейность наблюдается уже при составах с $x \leq 0.1$. В работах [1,9] линейная зависимость $E_g(x)$ наблюдалась для составов с $x \leq 0.05$ и производная dE_g/dx равнялась

5.7 эВ при 77.4 К. Позднее значение было скорректировано до 4.3 эВ [10]. В работе [11] получено значение $dE_g/dx = 4.5 \text{ эВ}$, а для составов с $x \geq 0.06$ оно начинает уменьшаться. Результаты, полученные нами методами ФЛ и ФП, также дают нелинейную зависимость $E_g(x)$ для состава с $0 \leq x \leq 0.1$, и аналитическое выражение с небольшим отклонением в коэффициентах согласуется с зависимостями в указанных работах. Желательно провести расчеты, аналогичные [8], зависимости $E_g(x)$ для твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$, особенно для составов с $x < 0.1$.

5. Заключение

В спектрах ФЛ эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) при $T = 77 \text{ К}$ наблюдались дополнительные дискретные линии излучения. Линии располагаются группой в низкоэнергетической части относительно основной линии, соответствующей излучательным переходам между зоной проводимости и валентной зоной твердого раствора. Ширина и вид группы линий зависят от температуры роста и от состава твердого раствора, а также от точки измерения на поверхности образца.

Можно предположить, что появление данных линий обусловлено образованием локальных неоднородностей в эпитаксиальном слое. В пользу такого объяснения свидетельствуют наблюдаемые „капли“ на поверхности образца, а также зависимость наличия дополнительных линий от температуры роста твердого раствора.

По положению основной линии излучения была построена зависимость ширины запрещенной зоны от содержания Eu x в твердом растворе $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$), которая является нелинейной и может быть описана выражением вида $E_g[\text{эВ}] = 0.213 + 4.8x - 18.4x^2$.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ (грант № 09-02-91345-ННИО_а) и программы президиума РАН № 27 „Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов“.

Список литературы

- [1] D.L. Partin. IEEE J. Quant. Electron., **QE-24**, 1716 (1988).
- [2] T. Schwarzl, W. Heiß, G. Springholz. Appl. Phys. Lett., **75**, 1246 (1999).
- [3] Z. Shi, G. Xu, P.J. McCann, X.M. Fang, N. Dai, C.L. Felix, W.W. Bewley, I. Vurgaftman, J.R. Meyer. Appl. Phys. Lett., **76**, 3688 (2000).
- [4] W. Heiss, T. Schwarzl, J. Roither, G. Springholz, M. Aigle, H. Pascher, K. Biermann, K. Reimann. Prog. Quant. Electron., **25**, 193 (2001).
- [5] M. Rahim, A. Khair, F. Felder, M. Fill, H. Zogg. Appl. Phys. Lett., **94**, 201112 (2009).
- [6] И.И. Засавицкий, А.В. Мазурин, Ю.Г. Селиванов, Г. Цогг, А.В. Юрушкин. Письма ЖЭТФ, **87**, 584 (2008).
- [7] G. Springholz, G. Bauer. J. Cryst. Growth, **144**, 157 (1994).

- [8] A. Gruneis, K. Hummer, M. Marsman, G. Kresse. Phys. Rev. B, **78**, 165 103 (2008).
- [9] Shu Yuan, H. Krenn, G. Springholz, G. Bauer. Phys. Rev. B, **47**, 7213 (1993).
- [10] Shu Yuan, H. Krenn, G. Springholz, Yukio Ueta, G. Bauer, P.J. McCann. Phys. Rev. B, **55**, 4607 (1997).
- [11] A. Ishida, S. Matsuura, M. Mizuno, Y. Sase, H. Fujiasu. Jpn. J. Appl. Phys., **63**, 4572 (1988).

Редактор Л.В. Шаронова

Dependence of photoluminescence spectra of $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) solid solution epilayers on the growth conditions

*D.A. Pashkeev, Yu.G. Selivanov, F. Felder[†],
I.I. Zasavitskiy*

P.N. Lebedev Physical Institute,
Russian Academy of Sciences,
119991 Moscow, Russia

[†] Thin Film Physics Group,
Laboratory for Solid State Physics,
Swiss Federal Institute of Technology (ETH),
CH-8005 Zürich, Switzerland

Abstract Photoluminescence spectra of $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) solid solution were studied at low temperatures. The epilayers were grown by molecular-beam epitaxy at different temperatures. Besides the main luminescence line that corresponds to band-to-band radiative recombination, additional lines were observed in the low energy part of the spectra. On the surface of the samples (less 1% of total area) some heterogeneities were found, and their concentration and size ($\sim 1-10 \mu\text{m}$) decrease with increasing of growth temperature. These additional luminescence lines are due to local heterogeneities in the epilayer. The $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) band gap dependence on the composition is nonlinear and can be expressed at 77.4 K by the relation $E_g[\text{eV}] = 0.213 + 4.8x - 18.4x^2$.