

УДК 535.376

СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ $TlGaSe_2$

А. Н. Георгобиани¹, А. М. Евлоев²

Представлены результаты исследования спектров фотолюминесценции и ее возбуждения в монокристаллах $TlGaSe_2$. Способность данных слоистых кристаллов скалываться пластинками с зеркальными гранями, являющаяся следствием резкой асимметрии химической связи, делает их перспективными материалами для фотоэлектрических преобразователей.

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, электрон, дырка, донор, акцептор, рекомбинационный процесс, люминесценция.

Непрерывно растущий интерес и нужды современной полупроводниковой техники не удовлетворяются известными материалами и требуют создания новых материалов. Поиск новых полупроводниковых материалов является одной из основных проблем сегодняшней физики твердого тела. Создание новых материалов открывает новые перспективы и позволяет решать новые технические задачи.

Интерес к фотоэлектрическим преобразователям солнечной энергии обусловлен экологическими соображениями, что делает их самыми перспективными среди возобновляемых источников энергии. Разработана технология выращивания совершенных цепочечных и слоистых монокристаллов типа $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ (A-Tl, B-In, Ga, C-S, Se) которые образуют класс полупроводников с большим набором значений ширины запрещенной зоны (0.6–2.4 эВ).

¹E-mail: georg@sci.lebedev.ru

²E-mail: Evloev555@mail.ru

Известно, что составляющие $TlV^3C_6^6$ (V-In, Ga; C-S, Se) катионы Tl^{+1} и V^{+3} являются элементами третьей группы и обеспечивают различные координации атомов, валентные состояния и характер химических связей.

Эти особенности являются причиной резкой анизотропии физических свойств этой группы материалов. Способность данных слоистых кристаллов скалываться на пластинки с зеркальными гранями, являющаяся следствием резкой асимметрии химической связи, делает их перспективными материалами для фотоэлектрических преобразователей.

В настоящей работе приведены результаты исследования спектров фотолюминесценции (ФЛ) и возбуждения в кристаллах $TlGaSe_2$.

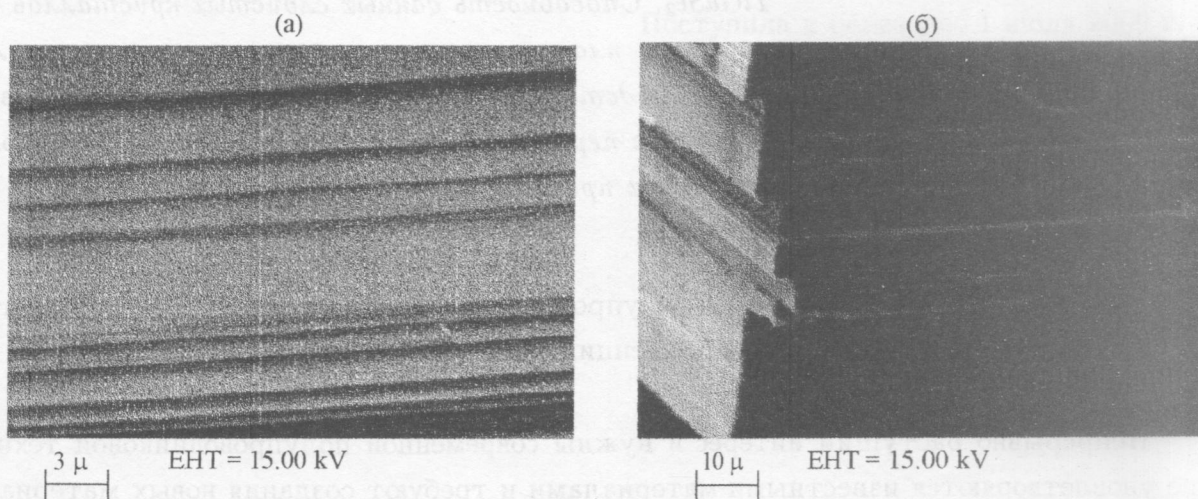


Рис. 1. Электронная микрофотография поверхности кристаллов $TlGaSe_2$: (а) вид сверху, (б) вид сбоку.

Экспериментальная часть. Выращивание монокристаллов осуществляли модифицированным методом Бриджмена–Стокбаргера. Выбор метода выращивания и его аппаратного решения помимо физических и химических свойств выращиваемых кристаллов во многом обуславливался как особенностями структуры этих соединений, так и тем, что их некоторые компоненты имеют высокую упругость паров. Поэтому процесс кристаллизации необходимо вести в закрытых ампулах малого объема. Эти условия легко достигаются в методе Бриджмена–Стокбаргера. Полученные кристаллы были p -типа и имели удельное сопротивление $10^8 - 10^{10}$ Ом·см при 300 К. Ширина запрещенной зоны 2.18 эВ. Подвижность носителей заряда 65 см²/В·сек. Образцы для

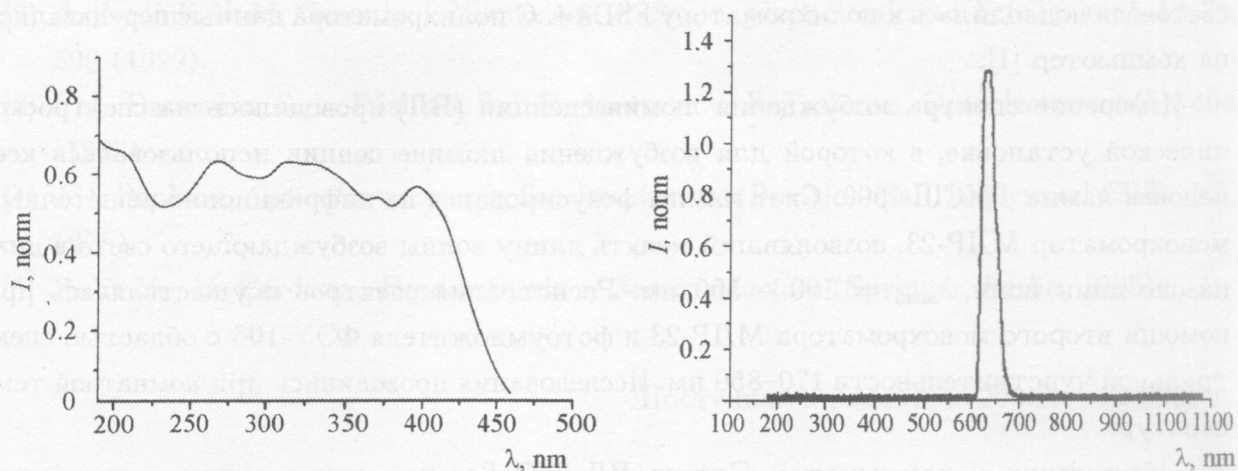


Рис. 2. Спектр возбуждения $TlGaSe_2$ при $T = 300$ К, $\lambda_{\text{рег}} = 630$ нм.

Рис. 3. Спектр фотолюминесценции $TlGaSe_2$ при $\lambda_{\text{возб}} = 520$ нм и $T = 300$ К.

исследований получали скалыванием монокристаллов на плоскопараллельные пластинки. С помощью электронного микроскопа получены электронные микрофотографии, на которых видны зеркальная поверхность и слоистая структура образцов, так что дополнительной полировки не требовалось (рис. 1). Исходными материалами являлись элементы особой чистоты: галлий Tl – 000, медь ОСЧ-11-4, селен ОСЧ-17-4, галлий – 000. Синтез соединений $TlGaSe_2$ осуществляли непосредственным сплавлением исходных компонентов (основное содержание составляющих компонентов соединений не менее 99.999%) в откачанных до остаточного давления не более 10^{-3} Па кварцевых ампулах двухтемпературным методом в печах с двумя независимыми обмотками при температурах на 40–50 К выше температуры плавления соответствующих соединений в течение двух часов при непрерывном перемешивании расплава. По окончании синтеза сплавы охлаждали со скоростью 100 К/час до температуры 400 К, а затем печи выключали. Полученные таким образом соединения $TlB^3C_2^6$ (B-In, Ga; C-S, Se) перегружались в графитизированные (5-ю слоями спектрально-чистого углерода) кварцевые ампулы заданного профиля и откачивались до остаточного давления 10^{-3} Па.

Спектры ФЛ $TlGaSe_2$ были получены при комнатной температуре. Источниками возбуждающего излучения являлись полупроводниковые светодиоды с длиной волны 520 нм. Излучение светодиода подводилось к поверхности образца с помощью кварцевого световода. Светолуминесценция собиралась с поверхности линзой и с помощью

световода подводилась к полихроматору FSD8 4. С полихроматора данные передавались на компьютер [1].

Измерение спектра возбуждения люминесценции (ВЛ) проводилось на спектроскопической установке, в которой для возбуждения люминесценции использовалась ксеноновая лампа ДКСШ-1000. Свет лампы фокусировался на дифракционно-решеточный монохроматор МДР-23, позволявший менять длину волны возбуждающего света в диапазоне длин волн $\lambda_{\text{возб}} = 190 - 500$ нм. Регистрация спектров осуществлялась при помощи второго монохроматора МДР-23 и фотоумножителя ФЭУ-106 с областью спектральной чувствительности 170–850 нм. Исследования проводились при комнатной температуре.

Обсуждение и результаты. Спектр ВЛ TlGaSe_2 при длине волны регистрации $\lambda_{\text{рег}} = 630$ нм, соответствующей наблюдаемым максимумам полосы ФЛ, представлен на рис. 2. Спектр имеет сложный характер, и область возбуждения простирается от ультрафиолетового диапазона ($\lambda_{\text{возб}} = 190$ нм) до голубого ($\lambda_{\text{возб}} = 470$ нм). В них наблюдаются максимумы при $\lambda_{\text{возб}} = 205, 268, 311, 372, 393$ нм.

На рис. 3 представлен спектр фотолюминесценции (ФЛ) TlGaSe_2 при 300 К. В спектре наблюдается ярко выраженная линия с максимумом при 630 нм. Её полуширина 36 нм.

Линия ФЛ обусловлена рекомбинационными излучениями глубоких акцепторно-донорных пар, наблюдающихся в тройных полупроводниковых соединениях [2–5]. При фотовозбуждении в донорно-акцепторных парах рекомбинация носителей заряда происходит излучательным образом. При низких интенсивностях возбуждения только малая часть донорных или акцепторных ловушечных центров захватывает носители заряда. Это приводит к рекомбинации только удаленных пар. Кулоновское взаимодействие между ионизованными примесями вносит большой вклад в энергию излучения фотонов в донорно-акцепторных парах. Этот вклад возрастает, в то время как разделение между парами уменьшается [5].

Спектр ВЛ имеет сложный характер, и область возбуждения простирается от ультрафиолетового диапазона ($\lambda_{\text{возб}} = 190$ нм) до голубого ($\lambda_{\text{возб}} = 470$ нм). Спектр ФЛ содержит линию с максимумом 630 нм.

Авторы благодарят проф. В.С. Горелика за обсуждение полученных результатов ФЛ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. П. Гончаров, В. С. Горелик, Краткие сообщения по физике, **36(9)**, 3 (2009).

- [2] A. Aydinli, N. M. Gasanly, I. Yilmaz and A. Serpengüzel, *Semicond. Sci. Technol.* **14**(7), 599 (1999).
- [3] I. A. Damaskin, S. L. Pâshkin, S. I. Radautsan, V. E. Tezlevan, *Optoelectron.* **5**(5), 405 (1973).
- [4] J. I. Pankove, *Optical processes in Semiconductors* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975).
- [5] P. Y. Yu, M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors* (Springer, Berlin, 1995).

Поступила в редакцию 20 августа 2009 г.