

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 538.958

НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХТОНКОЙ
ПЛЕНКИ СЕЛЕНИДА ИНДИЯ

© 2020 г. Р. М. Мамедов^{а,*}

^аБакинский государственный университет, AZ1148, Баку, Азербайджан

*e-mail: rovshan63@rambler.ru

Поступила в редакцию 05.07.2019 г.

После доработки 05.07.2019 г.

Принята к публикации 17.09.2019 г.

Методом термического испарения селенида индия в вакууме и осаждения пара на поверхность жидкости, получены сверхтонкие пленки InSe. Приведены результаты EDS и EDX анализов, из которых видно, что полученная пленка является селенидом индия. Показано, что энергия связи экситона в сверхтонких пленках InSe, выращенных на поверхности жидкости составляет 300 мэВ.

Ключевые слова: ультратонкие пленки, селенид индия, энергия связи экситонов

DOI: 10.31857/S0044453720060163

Современные методы исследований физико-химических свойств сверхтонких пленок селенида индия и 2D InSe кристалла позволили выявить ряд новых явлений и их свойств, представляющих большой практический интерес [1–4]. Эти исследования в основном проводились на образцах, отслоенных от крупных монокристаллических слитков, либо путем интеркалирования, либо механическим способом с использованием клейкой ленты [5–8]. Образцы, полученные этими способами, имели микронные, и даже меньшие размеры. В некоторых работах использовались тонкие пленки, полученные на твердых подложках методом осаждения паров InSe в вакууме или химическим осаждением [9–12]. Первые образцы, имея малые размеры, не имеют перспективы для практического применения, вторые, осажденные на твердые подложки, подвергаются воздействию адгезионных сил со стороны материалов подложек, что сильно искажает фундаментальные параметры сверхтонкой структуры InSe.

В данной работе приводятся результаты нового метода получения сверхтонких пленок селенида индия, избавленных от воздействия адгезионных сил со стороны подложки, и физико-химических анализов этих пленок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Метод основан на процессе термического испарения соединения InSe и осаждения паров на свободную поверхность жидкости в вакууме. Испарение размельченных до размеров 10–20 мкм поликристаллического селенида индия произво-

дился в стеклографитовом тигле, предварительно нагретом до температуры, превышающей температуру плавления InSe на 20 ± 3 К. Размельченные пылинки InSe подавались в тигель специальным устройством, позволяющим контролировать количество подаваемой массы. Подложка, расположенная на высоте 15 см от тигля, представляет собой многослойную структуру (рис. 1а). Верхний слой является стеклом, на 0.5 мм ниже расположена металлическая сетка, которая залита жидкостью. За счет смачиваемости с сеткой, густая жидкость почти равномерно покрывает нижнюю сторону сетки. Температура жидкости контролировалась тонкими термопарами, прикрепленными к металлической сетке. В качестве жидкости использовано масло, являющееся химически нейтральным к парам InSe и обладающее низким давлением пара в вакууме. После осаждения паров InSe на поверхность жидкости, многослойная подложка переворачивается вверх дном и сетка с образованной пленкой селенида индия отделяется от жидкости. На рис. 1б представлен снимок пленки InSe на металлической сетке до удаления остатка масла.

Остатки жидкости удаляли, продержав сетки с тонкой пленкой InSe в вакууме при температуре 415 К, в течение одного часа. Материалом сетки являлась нить из сплава медь–цинк диаметром 200 мкм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Составной анализ вещества, осажденного на металлическую сетку, и его морфологическая

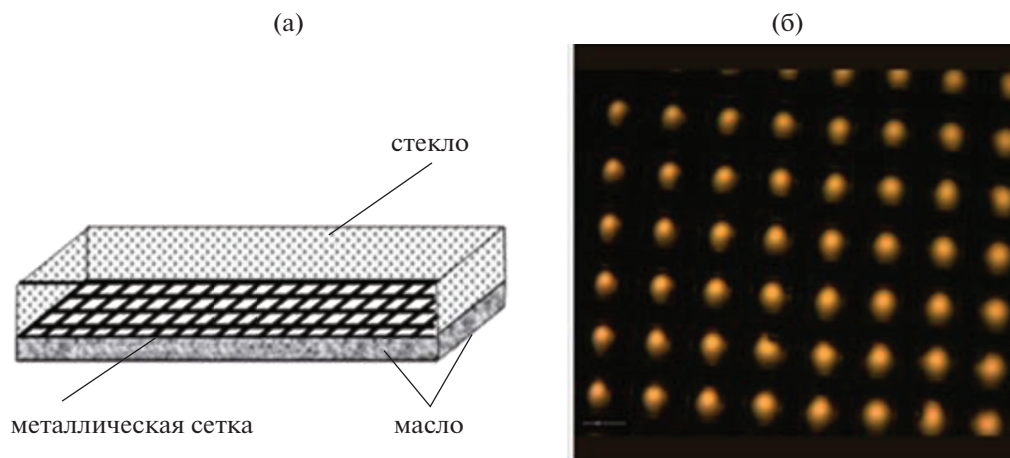


Рис. 1. Схематическая структура подложки для получения сверхтонкой пленки селенида индия (а) и снимок пленки InSe на металлической сетке (б).

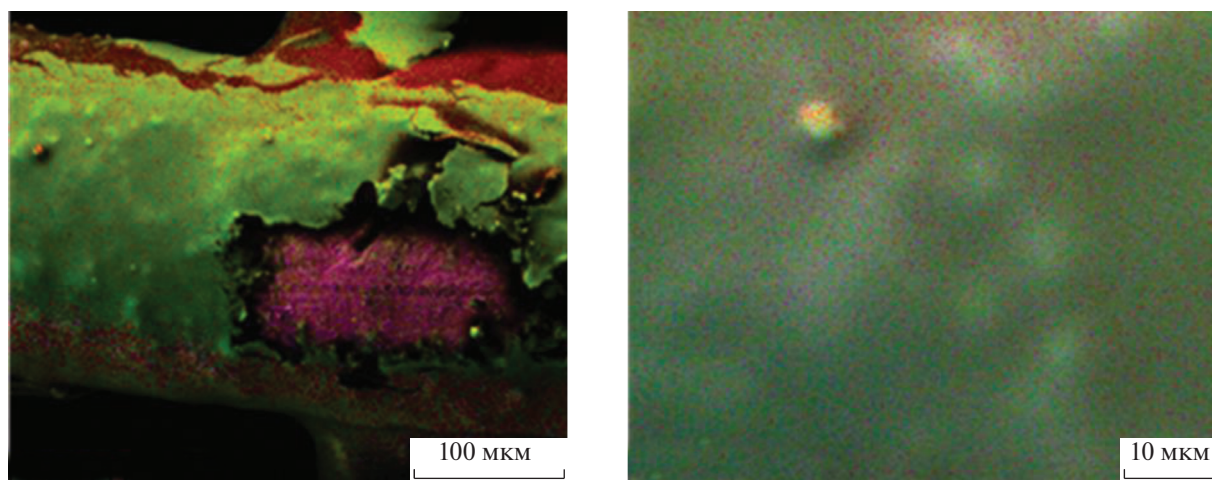


Рис. 2. EDS-изображение тонкой пленки InSe на металлической нити.

структура исследованы на сканирующем электронном микроскопе. На рис. 2 представлено изображение, полученное методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии тонкой пленки InSe на нитке металлической сетки. Часть пленки InSe специально разрушена механическим способом. Следует отметить, что при попадании электронного луча на пленку InSe на окне сетки пленка разрушается. Поэтому, нам пока не удалось провести структурный анализ свободной пленки. Однако, как видно из рис. 3б, пленка идеально-однородная, а результаты составного анализа можно объяснить по изображениям на рис. 3. Отдельные компоненты селенида индия по всему участку пленки распределены равномерно. Многочисленные оценки толщины пленки показали, что она составляет ~ 1.8 мкм. Массовое соотношение индия и селена в составе тонкой пленки определено из EDX спектра

(рис. 4). Соотношение атомных масс индия и селена хорошо совпадает с соотношением процентных масс компонентов тонкой пленки, представленных в правом углу гистограммы.

Поэтому, можно убедиться в том, что полученная тонкая пленка по составу соответствует стехиометрической формуле InSe. Спектр поглощения тонкой пленки InSe снимался под освещением галогенной лампы. В отличие от электронного потока, фокусированное излучение лампы не влияло на состояние пленки. На рис. 5 представлен спектр коэффициента поглощения пленки InSe на металлической сетке, с учетом эффективной площади пропускающей части сетки. Край полосы поглощения пленки начинается с энергии фотона 0.96 эВ.

Подробный анализ спектров коэффициента поглощения и фотолюминесценции кристалла

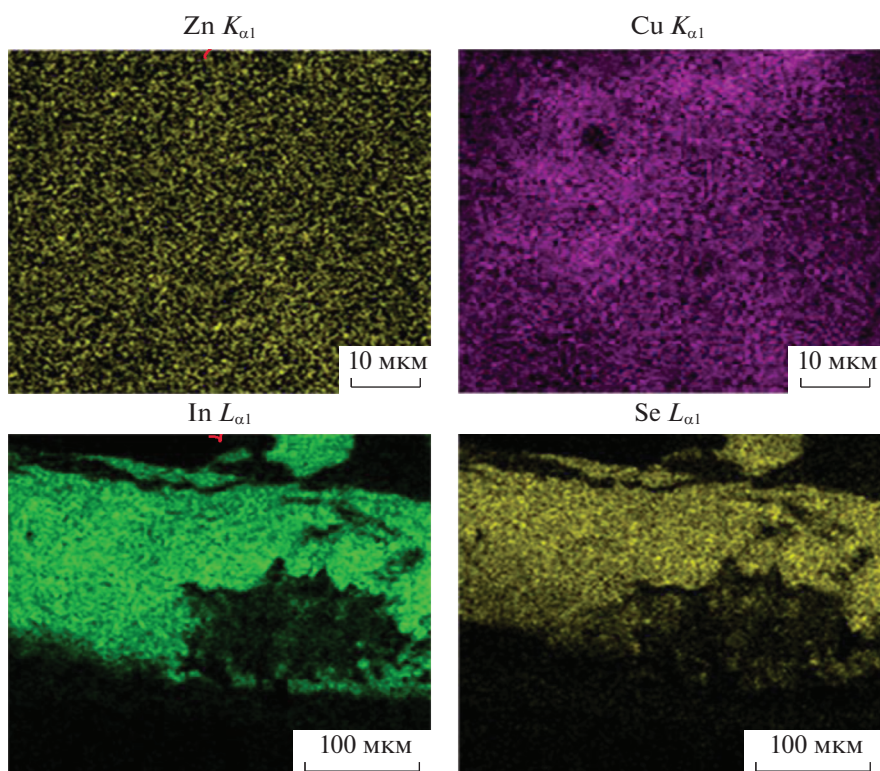


Рис. 3. Компоненты составного анализа EDS-изображения.

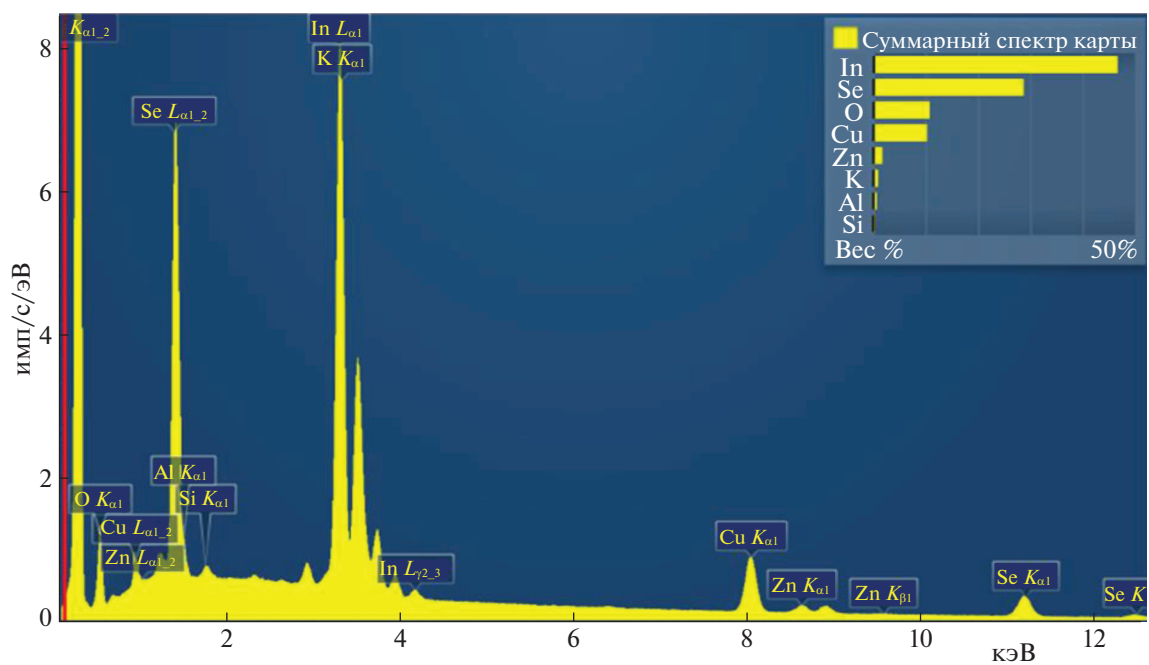


Рис. 4. EDX-спектр тонкой пленки InSe на металлической сетке из ниток сплава медь–цинк.

InSe при разных условиях проведены в работах [3–14]. Энергия связи экситонов по данным [13] для прямозонного перехода составляет 14.5 мэВ, а

для непрямозонного 19 мэВ. Экситонный пик на спектре коэффициента поглощения тонкой пленки InSe, выращенной на масле, очень четко

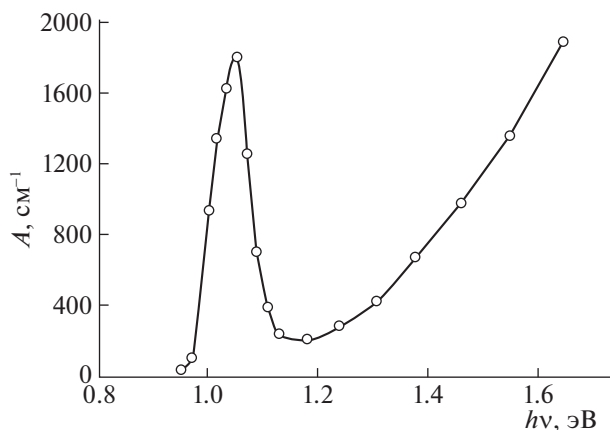


Рис. 5. Спектр коэффициента поглощения тонкой пленки InSe на металлической сетке.

появляется около энергии 1.05 эВ. Учитывая значение ширины запрещенной зоны кристалла InSe, равной 1.35 эВ, получаем энергию связи экситона в тонкой пленке InSe, выращенной на масле, равную 300 мэВ. Такое большое значение энергии связи экситонов характерно для связанных экситонов. Эти сведения позволяют нам сделать вывод о том, что тонкая пленка InSe, выращенная на масле не содержит дефектов структуры, которые имеют место в кристаллах, выращенных общепринятыми методами.

Таким образом, методом осаждения термически испаренного селенида индия на поверхность химически нейтрального масла получены сверхтонкие пленки InSe. Энергия связи экситона в тонкой пленке InSe, выращенной на масле, со-

ставляет 300 мэВ, что почти в 20 раз больше энергии связи экситона в кристалле селенида индия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balakrishnan N., Kudrynskiy Z.R., Smith E.F. et al. // 2DMater. 2017. V. 4. P. 025043(1–10).
2. Mudd G.W. et al. // Adv. Mater. 2015. V. 27. P. 3760. <https://doi.org/10.1002/adma.201500889>
3. Ando T. // Rev. Mod. Phys. 1982. V. 54. P. 437–672.
4. Iordanidou K., Houssa M., Kioseoglou J. et al. // ACS Appl. Nano Mater. P. 20181126656-6665.
5. Xueping Li, Juan Du, WenqiXiong, Congxin Xia // J. Appl. Phys. 2017. V. 122. Issue 18. P. 185702(1-5). <https://doi.org/10.1063/1.4998326>
6. Wells S.A., Henning A., Gish J.T. et al. // Nano Letters. 2018. V. 18. P. 7876.
7. Beardsley R., Akimov A.V., Greener J.D.G. et al. // Scientific Reports. 2016. V. 6. P. 26970.
8. Brotons-Gisbert M., Andres-Penares D.M., Joonki Suh et al. // Nano Letters. 2016. V. 16 (5). <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b00689>
9. Sanchez-Royo J.F., Munoz-Matutano G. et al. // Nano Research. 2014. V. 7 (10). P. 1556. <https://doi.org/10.1007/s12274-014-0516-x>
10. Tamalampudi S. et al. // Nano Lett. 2014. V. 14. P. 2800–2806. <https://doi.org/10.1021/nl500817g>
11. Sidong Lei, Liehui Ge, Sina Najmaei, Antony George et al. // ACS Nano. 2014. V. 8 (2). P. 1263–1272. <https://doi.org/10.1021/nn405036u>
12. Airo M. et al. // RSC Adv. 2016. V. 6. P. 40777. <https://doi.org/10.1039/c6ra00262e>
13. Manjon F.J., Errandonea D., Segura A. et al. // Physical Review B. 2001. V. 63. P. 125330-1-13.
14. Gnatenko Yu.P., Zhirko Yu.I. // Phys. Stat. Sol. B. 1987. V. 142. P. 595.