

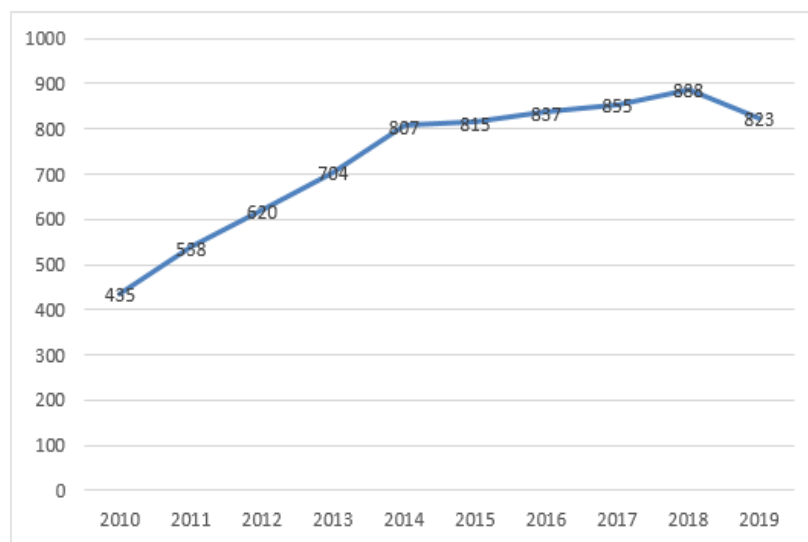
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА ОЛОВА

Моносουλфид олова SnS является одним из трех соединений, которые образуются в двухкомпонентной системе Sn-S. Он относится к классу полупроводников  $A^{IV}B^{VI}$  с проводимостью p- и n-типа в зависимости от элементного состава. Сульфид олова характеризуется слоистой кристаллической структурой, атомные слои которой связаны только силами Ван-дер-Ваальса. В связи с этим на поверхности кристаллов SnS отсутствуют незаполненные электронные уровни и не наблюдается пиннинг уровня Ферми, благодаря чему поверхность материала характеризуется высокой химической стабильностью. Указанные особенности электронной структуры позволяют использовать SnS для создания гетеропереходов с высокой степенью гетерогенности без промежуточных электронных уровней на поверхности контакта слоев. В зависимости от условий получения, для пленок SnS характерны прямые и непрямые переходы, при этом оптическая ширина запрещенной зоны варьируется в диапазоне 1,1–1,5 эВ, а коэффициент поглощения в видимом диапазоне составляет значительную величину порядка  $10^4$ – $10^5$   $\text{см}^{-1}$  [1]. Благодаря таким свойствам данный материал применяется в различных оптоэлектронных приборах.

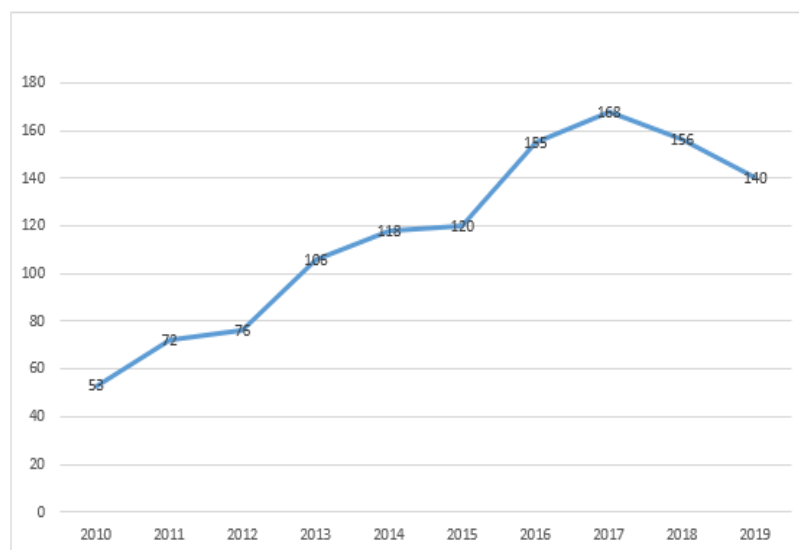
В настоящее время отмечается повышенный интерес к использованию пленок SnS в качестве поглощающего слоя для тонкопленочных преобразователей солнечного излучения, благодаря низкой стоимости материала, которая обусловлена широким распространением олова и серы в природе [2, 3].

В рамках данного исследования проведен поиск и анализ публикаций за 2010–2019 г., посвященных моносулфиду олова, в наукометрических базах Web of Science и Scopus. По данным обеих баз наблюдается устойчивый рост количества таких публикаций вплоть до 2017–2018 г (рисунок 1). Данные за 2019 год неполные, поскольку они охватывают только 11 месяцев этого года. Максимальное количество публикаций по базе Web of Science составило 168 статей в 2017 году, а по базе Scopus – 888 статей за

2018 г. При этом за 9 лет в базе Web of Science число публикаций увеличилось более, чем в 3 раза, а в базе Scopus менее, чем в 2 раза. Анализ статей базы Web of Science за 11 месяцев 2019 г. показывает, что в настоящий момент плёнки SnS наиболее широко по сравнению с другими электронными устройствами исследуются в связи с перспективами их использования в солнечных элементах.



a)



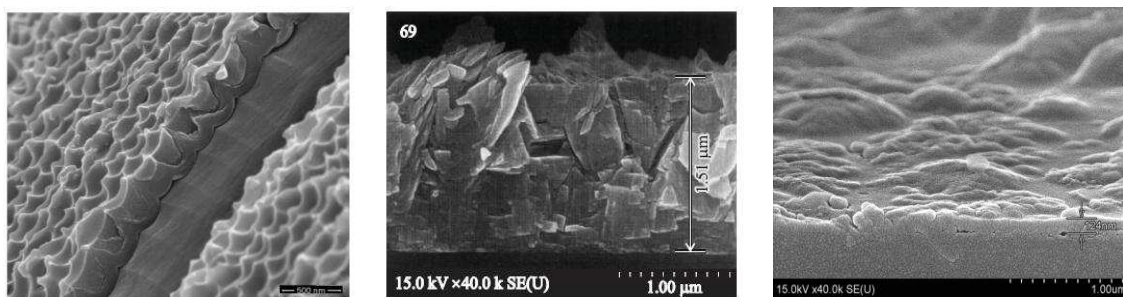
b)

Рисунок 1 – Хронологические сведения по количеству научных статей, посвященных пленкам SnS, по данным баз Web of Science (a) и Scopus (b)

Основной целью изучения литературных сведений был анализ актуальной ситуации по методам, используемым для получения микро- и наноразмерных плёнок сульфида олова. По данным статей,

представленных в базе Web of Science за 11 месяцев 2019 г., можно заключить, что наиболее широко исследуются различные варианты методов химического и электрохимического осаждения (около 54 % статей), а также метод распылительного пиролиза (порядка 15 % статей), что связано с их простотой. На долю методов вакуумного напыления или физической конденсации паров приходится около 13 % статей. При этом различные методы позволяют достаточно в широком диапазоне варьировать такой фундаментальный параметр сульфидной фазы, как ширина запрещенной зоны. На данном этапе наиболее высокое значение ширины запрещенной зоны (около 1,7 эВ) зафиксировано для плёнок, полученных методом спрей-пиролиза [4].

В целом, можно отметить, что пленки SnS, полученные из водных растворов характеризуются пониженной кристалличностью и включением кислорода в виде примесного компонента пленки, что существенно влияет на ее электрофизические характеристики (рисунок 2).



a)

б)

в)

Рисунок 2 – Электронные микроизображения пленок SnS, полученных методом электрохимического осаждения [5] (a), термического испарения [6] (б), химического наслаивания [7] (в)

Одним из перспективных способов получения наноразмерных пленок SnS с заданными свойствами представляется метод послойного синтеза или химического наслаивания [8]. Он основан на проведении на поверхности подложки последовательных реакций адсорбции ионов различных неорганических или органических веществ с обязательным удалением на одной из стадий их непрореагировавшего с подложкой избытка. Основными преимуществами данного метода можно считать его относительную простоту и возможность нанесения слоев с контролируемым составом и толщиной на подложки различной формы и химической природы. Послойный синтез проводят в условиях «мягкой химии», зачастую при комнатной

температуре, что является важным условием при получении многих термически нестойких материалов, в том числе SnS [9].

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Thin films of tin sulfide for use in thin film solar cell devices / O.E. Ogah [et al.] // *Thin Solid Films*. – 2009. – Vol. 517, №7. – P. 2485–2488.
- 2 Controlled thickness of a chemical-bath-deposited CdS buffer layer for a SnS thin film solar cell with more than 3% efficiency / J. Y. Cho [et al.] // *J. Alloys Compd.* – 2019. – Vol. 796. – P. 160–166.
- 3 Hongnan, L.K. Fabrication of CdS/SnS Heterojunction for photovoltaic application / L.K. Hongnan // *J. Condens. Matter. Physics*. – 2015. – Vol. 5, № 2. – P. 5–10.
- 4 SnS thin films deposition by spray pyrolysis: solvent influence / M.Messaoudi [et al.] // *Chalcogenide Letters*. – 2019. – Vol. 16, № 4. – P. 157–162.
- 5 Influence of sodium diffusion from substrates on performance of SnS/CdS thin-film solar cells / Cho, J. Y. [et al.] // *J. Mater. Chem. A*. – 2019. – Vol. 42, №. 7 – P. 24186-24190.
- 6 Characterization of evaporated tin sulfide and its application for hybrid solar cell / Y.Guo [et al.] // *Mater. Letters*. – 2019. – Vol. 251. – P. 234–237.
- 7 Галковский, Т. В. Получение тонких полупроводниковых пленок оксосульфида олова (II) методом SILD / Т. В. Галковский, Н. В. Богомазова, И. М. Жарский // *Свиридовские чтения: Сб. ст. – Вып. 15. – Минск, 2019. – В печати.*
- 8 Толстой, В.П. Реакции ионного наслаивания. Применение в нанотехнологии / В.П. Толстой // *Успехи химии*. – 2006. – Т.75, №2. – С. 183–199.
- 9 Photosensitive sulfide heterostructures obtained by using Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction on planar and profiled substrates / N. Bogomazova [et al.] // *J. Physics: Conference Series*. – 2018. – Vol. 1124. – 081032(6 p.).