

УДК 539.26 + 541.22 + 771.531.1 + 772.19

В.С. Костко

ДИЙОДИД ОЛОВА, ЕГО ПОЛИМОРФИЗМ И СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

На основании результатов исследования светочувствительности дийодида олова в атмосферах различных газов, ее зависимости от давления, определения продуктов фотолиза в SnI_2 с помощью кварцевого измерителя толщины и методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии делается вывод о его полиморфизме, роли кислорода в светочувствительных свойствах SnI_2 , его механизме светочувствительности.

Введение

Интерес к галогенидам тяжелых металлов (как в СССР, так и за рубежом) достиг своего пика в 60-70-х годах XX века и обусловлен был поиском светочувствительных сред, альтернативных традиционным галоидосеребряным фотографическим средам.

Развитие бессеребряной фотографии обусловлено было, прежде всего, потребностями техники в светочувствительных материалах, обладающих новыми, по сравнению с галоидосеребряными материалами, характеристиками. Классический фотографический процесс на галогенидах серебра слишком громоздкий и медленный, не всегда отвечает возросшим требованиям его разрешающая способность. Другой важной причиной, стимулирующей прогресс бессеребряной фотографии, является острый дефицит серебра на мировом рынке.

Стремительное развитие цифровой фотографии, казалось бы, решило все перечисленные проблемы и отодвинуло на задний план бессеребряную фотографию. Однако следует учитывать, что не во всех областях науки и техники на смену традиционным фотографическим слоям пришла цифровая техника. Сюда можно отнести частично медицину, ядерную физику и другие области науки и техники. Кроме того, обнаруженные эффекты светочувствительности бессеребряных структур полупроводник–металл позволяют использовать их, например, в таких направлениях, как опто-техника (голографические решетки, зеркала, микрошкалы, линзы и др.); электроника (фотошаблоны, элементы микросхем, CD-диски); вычислительная техника (запоминающие устройства); литография (печатные формы); бессеребряная фотография (регистрирующие среды, получение как позитивного, так и негативного изображения на одних и тех же слоях).

То, что практический интерес с подобными разработкам не ослабевает, подтверждает такой факт: на IX Московском международном салоне инноваций и инвестиций (2009 г.) авторские разработки «Способ получения позитивного или негативного изображения на бессеребряных светочувствительных слоях» и «Способ нанесения рельефного изображения на диэлектрическую подложку» удостоены золотой и бронзовой медалей соответственно.

С теоретической точки зрения исследования физических закономерностей, происходящих в квантово-размерных структурах, к которым относятся тонкопленочные светочувствительные структуры, представляют дополнительный интерес по той причине, что физические процессы в них определяются квантовыми свойствами частиц. Законы, используемые для макротел, не всегда применимы для описания микрообъектов.

В связи с этим необходимы дополнительные исследования по определению физических закономерностей именно для наноструктур.

В настоящей работе представлены результаты исследований полиморфизма, светочувствительности дийодида олова, предлагается модель его механизма светочувствительности.

1. Полиморфизм дийодида олова

Еще в ранних исследованиях тонких пленок дийодида олова (SnI_2), полученных термическим напылением в вакууме на подложку, находившуюся при комнатной температуре, было замечено, что пленки получались желтого цвета, в то время как исходный порошок SnI_2 был красным. Последующее медленное нагревание пленки в вакууме приводило к тому, что ее цвет изменялся на красный, который вновь становился желтым при повышении температуры пленки выше ~ 381 К. Много позже на основании этого было сделано предположение, что при определенных условиях в дийодиде олова имеет место полиморфное превращение α - SnI_2 -модификации в β - SnI_2 -модификацию.

Полиморфизм (от греч. *polymorphos* – многообразный) – это способность некоторых веществ существовать в состояниях с различной атомно-кристаллической структурой [1]. Некоторым твердым телам свойственна не одна, а две и более кристаллические структуры, устойчивые при различных температурах и давлениях. Такие структуры называют полиморфными формами, или модификациями вещества, а переход от одной модификации к другой – полиморфными превращениями. Полиморфные модификации принято обозначать греческими буквами. Модификацию, устойчивую при нормальной и более низкой температуре, обозначают буквой α и модификации, устойчивые при более высоких температурах, обозначают соответственно буквами β , γ , δ и т. д.

Первое упоминание о возможном полиморфизме SnI_2 приводится в работе [2]. Низкотемпературной фазе α - SnI_2 (порошок красного цвета) соответствует кристаллическая структура моноклинной сингонии, пространственная группа симметрии ($C2/m$) с параметрами решетки $a = 14.17 \text{ \AA}$, $b = 4.535 \text{ \AA}$, $c = 10.87 \text{ \AA}$ и $\beta = 92.0^\circ$ [2–4].

Результаты исследований порошков и пленок методами ED XRF-анализа (энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализ; отечественный термин – рентгенорадиометрический анализ) и РФС-анализа (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия) показали, что соотношение количества олова и йода как в исходных порошках, так и в напыленных из них пленках в обоих случаях оставалось неизменным и равным 1:2.

Несмотря на то, что ED XRF-анализ пленок подтвердил соответствие состава пленок стехиометрическому соединению SnI_2 , рентгенограммы тонких пленок, полученных вакуумным испарением с молибденовых испарителей на стеклянные подложки при комнатной температуре, сильно отличались от рентгенограмм исходного порошка. На рентгенограммах, полученных от пленок, в области углов $10^\circ \leq 2\theta \leq 110^\circ$ наблюдались шесть рефлексов. Установлено, что вещество, полученное соскабливанием пленки с подложки, обладает гексагональной кристаллической структурой с постоянными элементарной ячейки $a = 4.506 \text{ \AA}$ и $c = 6.946 \text{ \AA}$ [5,6].

Таким образом, установлено, что дийодид олова (SnI_2) обладает явлением полиморфизма и может находиться в двух модификациях: моноклинной α - SnI_2 и гексагональной β - SnI_2 . Модификация β - SnI_2 , обладающая свойством светочувствительности, образуется в результате нагрева α - SnI_2 модификации.

2. Исследования светочувствительности SnI_2 в атмосферах различных газов и ее зависимость от давления

Слои SnI_2 , нанесенные термическим вакуумным испарением на диэлектрические подложки (кварц, стекло, лавсан, бумага), обладают фотографической чувствительностью. Под воздействием света в них образуется в атмосфере воздуха видимое, а в вакууме скрытое изображение, которое становится видимым в вакууме лишь при одновременном облучении и прогреве слоя при $134\text{--}138^\circ\text{C}$ [7].

Для выяснения факторов, влияющих на светочувствительность слоев SnI_2 , были проведены измерения последней в атмосферах различных газов, а также воздухе как при атмосферном давлении и комнатной температуре, так и при различных давлениях. Мерой эффективности фотохимических превращений являлась величина, обратная экспозиции (произведение плотности потока излучения на время его воздействия) фотоактивного света, необходимой для того, чтобы вызвать одинаковые изменения коэффициента пропускания либо отражения зондирующего луча. Эта величина называется светочувствительностью.

Для исследования светочувствительных свойств тонких слоев использовались два пучка света, один из которых вызывал фотохимические превращения (его называют фотоактивным), а другой служил зондом, т.е. использовался для регистрации изменений пропускания (отражения). Длина волны света, использовавшегося в качестве зонда, выбиралась вне области собственного поглощения полупроводника с таким расчетом, чтобы по возможности не вызывать фотохимических превращений.

Криостат с помещенным внутри него исследуемым образцом предварительно откачивался до вакуума $\sim 5\text{--}10^{-5}$ мм рт.ст., а затем наполнялся газом под необходимым давлением. После $10\text{--}15$ минут выдержки проводилось измерение светочувствительности, величина которой пропорциональна изменению пропускания (оптической плотности) образца. При температуре 293 K в атмосферах аргона и азота, также как и в вакууме, пленки SnI_2 были нечувствительны к падающему излучению в диапазоне $300\text{--}520$ нм.

При напуске в криостат NH_3 происходило разрушение тонких слоев SnI_2 агрессивной средой аммиака, что исключало возможность определения степени светочувствительности SnI_2 в этой среде. Это свойство тонких пленок SnI_2 может быть использовано в датчиках аммиака.

Чувствительность пленок к падающим световым потокам в атмосфере кислорода примерно в три раза превосходит светочувствительность на воздухе при аналогичных условиях облучения. На рисунке 1 представлена зависимость светочувствительности S тонких слоев SnI_2 от давления воздуха (кислорода) P . Очевидна линейная зависимость светочувствительности SnI_2 от давления кислорода в интервале $0,45\text{--}0,9$ кГ/см².

По этому поводу можно высказать предположение, что светочувствительность пленок SnI_2 объясняется взаимодействием двуйодистого олова с кислородом под действием падающего излучения. В результате чего чувствительность должна изменяться пропорционально давлению. Действительно, в интервале $0,45\text{--}0,9$ кГ/см² обнаружена линейная зависимость светочувствительности S от давления воздуха (кислорода) в криостате (рисунок 1).

В пользу высказываемого предположения о главенствующей роли кислорода газообразного, а не хемисорбированного O_2 на поверхности SnI_2 в образовании его светочувствительности может говорить то обстоятельство, что при откачке криостата всего до $10^{-1}\text{--}10^{-3}$ мм рт.ст. или продувании его азотом N_2 происходит значительное падение светочувствительности, когда маловероятно удаление хемисорбированного кислорода.

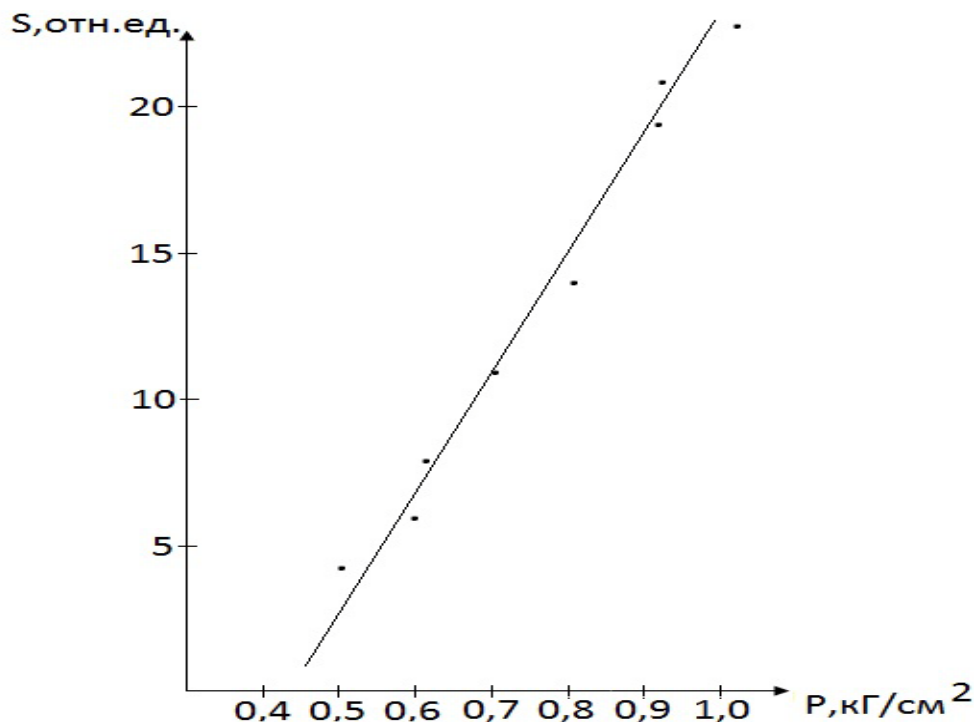


Рисунок 1 – Залежність світлочувствительності тонких шарів SnI₂ від тиску повітря

3. Визначення продуктів фотостимульованих перетворень в SnI₂ з допомогою кварцевого вимірника товщини

На основі результатів досліджень світлочувствительності тонких шарів SnI₂ в атмосферах різних газів було виявлено суттєве вплив атмосферного кисню на утворення продуктів фотостимульованих перетворень в SnI₂. Хімічні перетворення, що відбуваються в SnI₂ під впливом світла, супроводжуються взаємодією SnI₂ з зовнішньою газообразною середою, повинні призводити до зміни маси вихідного речовини. З метою визначення зміни маси вихідного речовини був використаний кварцевий вимірник товщини (КИТ). Метод КИТ не претендує на високу точність, порівняльну з точністю методу РФС (рентгеновської фотоелектронної спектроскопії). Разом з тим автор вважає цільовим показати доступний і простий метод, що дозволяє реєструвати фотохімічні перетворення, що відбуваються в світлочувствительних шарах, при неможливості проведення РФС-вимірювань.

Суть методу КИТ заключається в наступному. Відомо, що принцип вимірювання товщини напыленного речовини з допомогою КИТ оснований на явленні зміни частоти коливань кварцевого резонатора (датчика) пропорційно масі напыленного на нього речовини:

$$\Delta f = km = k\mu N / N_A, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, m – маса напыленного речовини.

Неважко показати, що молекулярна маса продуктів фотостимульованих перетворень μ_2 зв'язана з молекулярною масою двоїстого олова μ_1 і зміни частоти кварцевого датчика після напылення Δf_1 і після облучення Δf_2 співвідношенням:

$$\mu_2 = \mu_1 \Delta f_2 / \Delta f_1. \quad (2)$$

Методика измерений состояла в следующем. На предварительно очищенный кварцевый резонатор в вакууме напылялась защитная пленка алюминия толщиной 500 нм. Поверх алюминиевой пленки напылялся слой SnI₂, в результате чего частота кварцевого резонатора изменилась на $\Delta f_1 = 3,07$ кГц. После облучения кварца на воздухе фотоактивным светом, частота резонатора увеличилась на 1,92 кГц, т.е. $\Delta f_2 = 1,15$ кГц. На рисунке 2 иллюстрируются результаты облучения кварцевого резонатора запыленного SnI₂. Из графика видно, что с течением времени частота резонатора возрастает (это свидетельствует об уменьшении массы продуктов реакции) и достигает насыщения. Насыщение указывает на то, что все напыленное вещество прореагировало и образовались стабильные во времени продукты реакции. Из проведенных измерений и формулы (2) следует, что молекулярная масса продуктов реакции равна 140 а.е.м. На основании этого были высказаны предположения о том, что возможным продуктом засветки тонких слоев, изготовленных из SnI₂, могут являться оксид – SnO либо диоксид – SnO₂ [8].

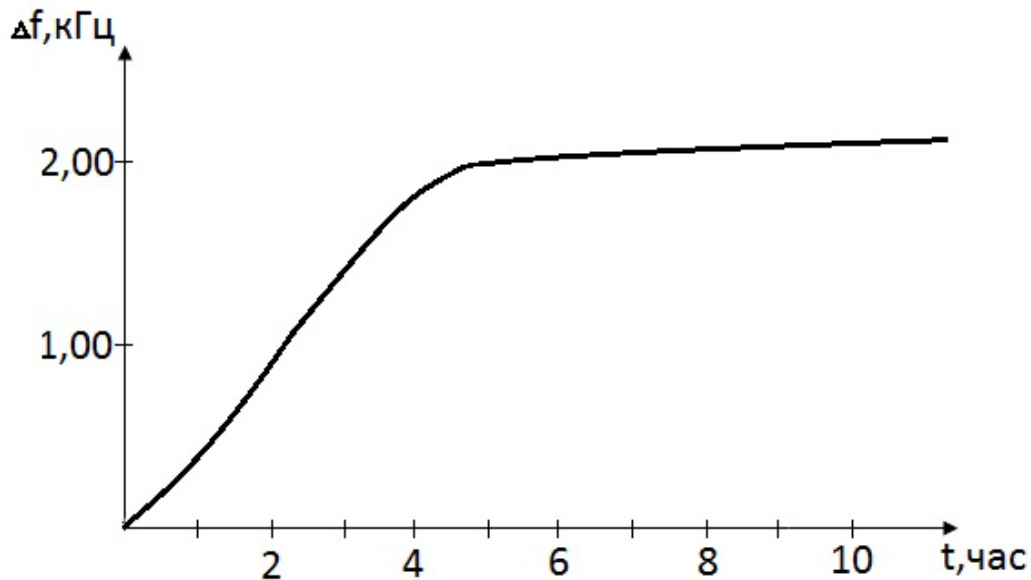


Рисунок 2 – Зависимость изменения частоты КИТ от длительности облучения тонких слоев SnI₂

4. Исследования светочувствительных слоев SnI₂ методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии

С целью определения и сравнения элементного состава тонких слоев SnI₂, подвергнутых и неподвергнутых световому облучению, были выполнены исследования названных слоев методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС) [9, 10].

РФС-измерения проведены на электронном спектрометре ЭС-2401 с использованием Mg K_α (1253,6 эВ) излучения. Давление в системе составляло примерно 10⁻⁸ Па до включения рентгеновской пушки. Измерения проводились методом съемки по точкам, с шагом 1,0 эВ для общего сканирования (10–1000 эВ) и с шагом 0,2 эВ при сканировании отдельных пиков: С 1s (282–292 эВ), Sn 3d (484–504 эВ), О 1s (530–539 эВ) и I 3d (617–639 эВ). В качестве внешнего стандарта использовалась линия С 1s (285,0 эВ).

Таблица 1 – Энергии связи и площади спектральных линий

Линия	до травления		после травления	
	$E_{св}$, эВ	S , отн. ед.	$E_{св}$, эВ	S , отн. ед.
Пленка незасвеченная				
C 1s _{1/2}	285.00	374.54	285.00	170.36
Sn 3d _{5/2}	487.71	3423.94	487.13	3683.84
Sn 3d _{3/2}	496.10	2280.71	495.48	2452.97
O 1s _{1/2}	532.42	505.75	531.26	231.36
I 3d _{5/2}	619.96	4965.16	619.59	6290.26
I 3d _{3/2}	631.47	3571.81	631.11	4113.99
Пленка засвеченная				
C 1s _{1/2}	285.00	289.52	285.00	132.76
Sn 3d _{5/2}	487.81	4631.90	487.30	6279.12
Sn 3d _{3/2}	496.22	3054.44	495.72	4110.60
O 1s _{1/2}	531.89	2004.67	531.31	1754.46
I 3d _{5/2}	619.97	213.52	619.92	274.74
I 3d _{3/2}	631.97	120.50	631.38	181.26

В таблице 1 и на рисунках 3, 4 представлены результаты исследования методами РФС тонких слоев, приготовленных термическим испарением SnI₂ в вакууме. При определении площади пиков для вычитания фона использовался метод, предложенный Ширли [11], и аппроксимация формы кривой гауссианом. На рисунке 3 изображены данные РФС этих слоев до (3а), и после засветки (3б).

На рисунке 4 приведены результаты измерений на тех же слоях, но после ионно-лучевого распыления верхнего слоя с целью удаления адсорбированных на поверхности примесей (кислород, пары воды, углеводородные загрязнения и т.д.). На спектрах отчетливо заметны спин-орбитальные дублеты 3d_{5/2} и 3d_{3/2}, соответствующие фотоионизации атомов олова и йода. Отношение интенсивностей этих линий равно 2:3. Символом А помечены линии Оже (Auger). На присутствие в слое кислорода указывает спектральная линия O 1s_{1/2}, расположенная между пиками олова и йода.

Как следует из спектров, представленных на рисунке 3, в результате засветки тонкой пленки йод из анализируемого слоя практически полностью возгоняется. Вместе с тем интенсивность линии, отражающей содержание кислорода, существенно возрастает. На основании этого экспериментального факта можно утверждать, что в результате облучения светом диiodида олова на воздухе происходит «фотоокисление» олова и удаление йода из слоя, что должно приводить к уменьшению толщины пленки. Аналогичное изменение толщины в тонких слоях галогенидов свинца было отмечено авторами работ [12].

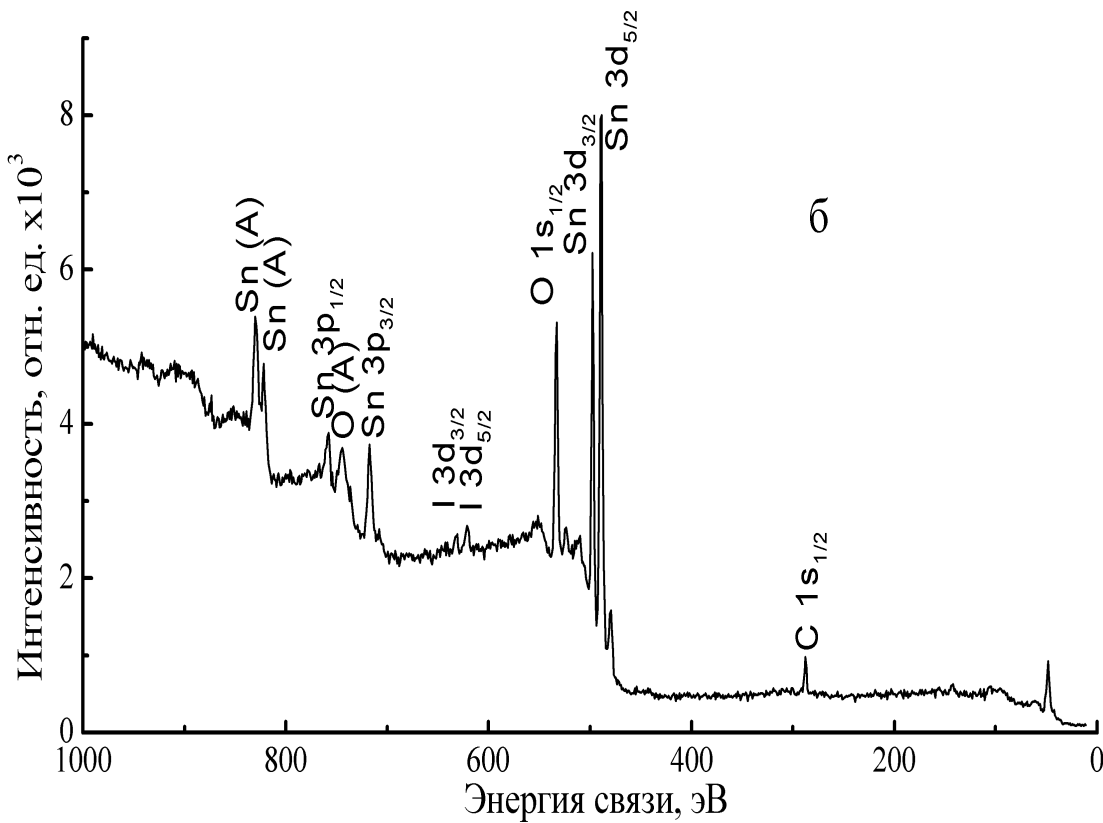
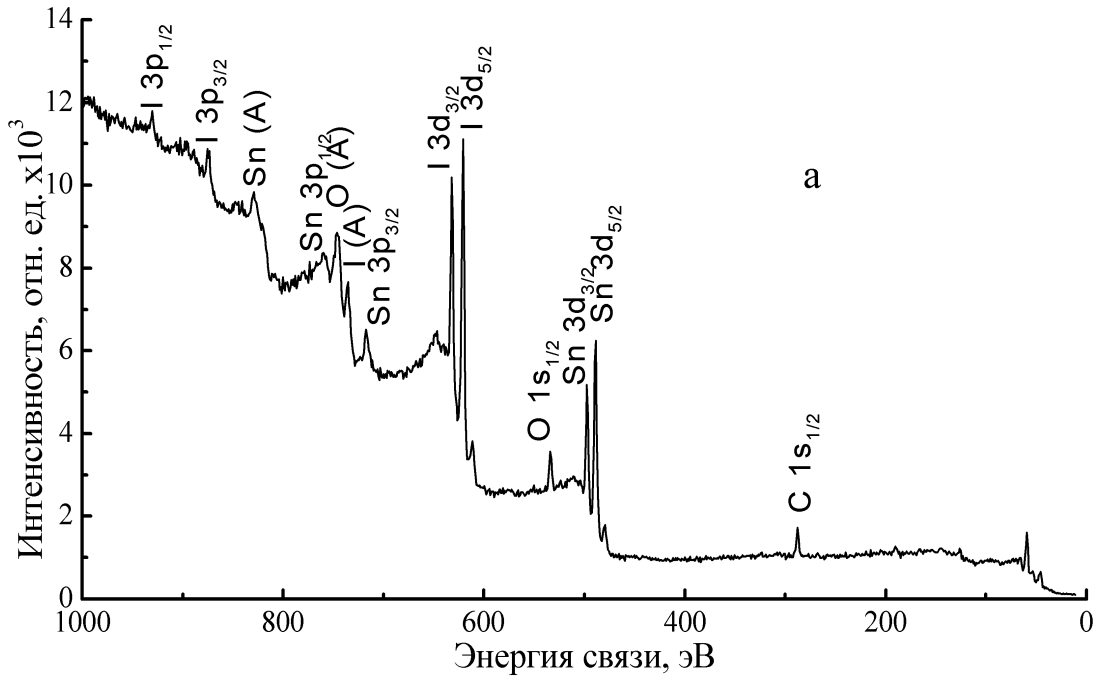


Рисунок 3 – Результаты РФС-исследований пленок: а) незасвеченная и б) засвеченная (время засветки ~30 мин), без предварительного ионного травления

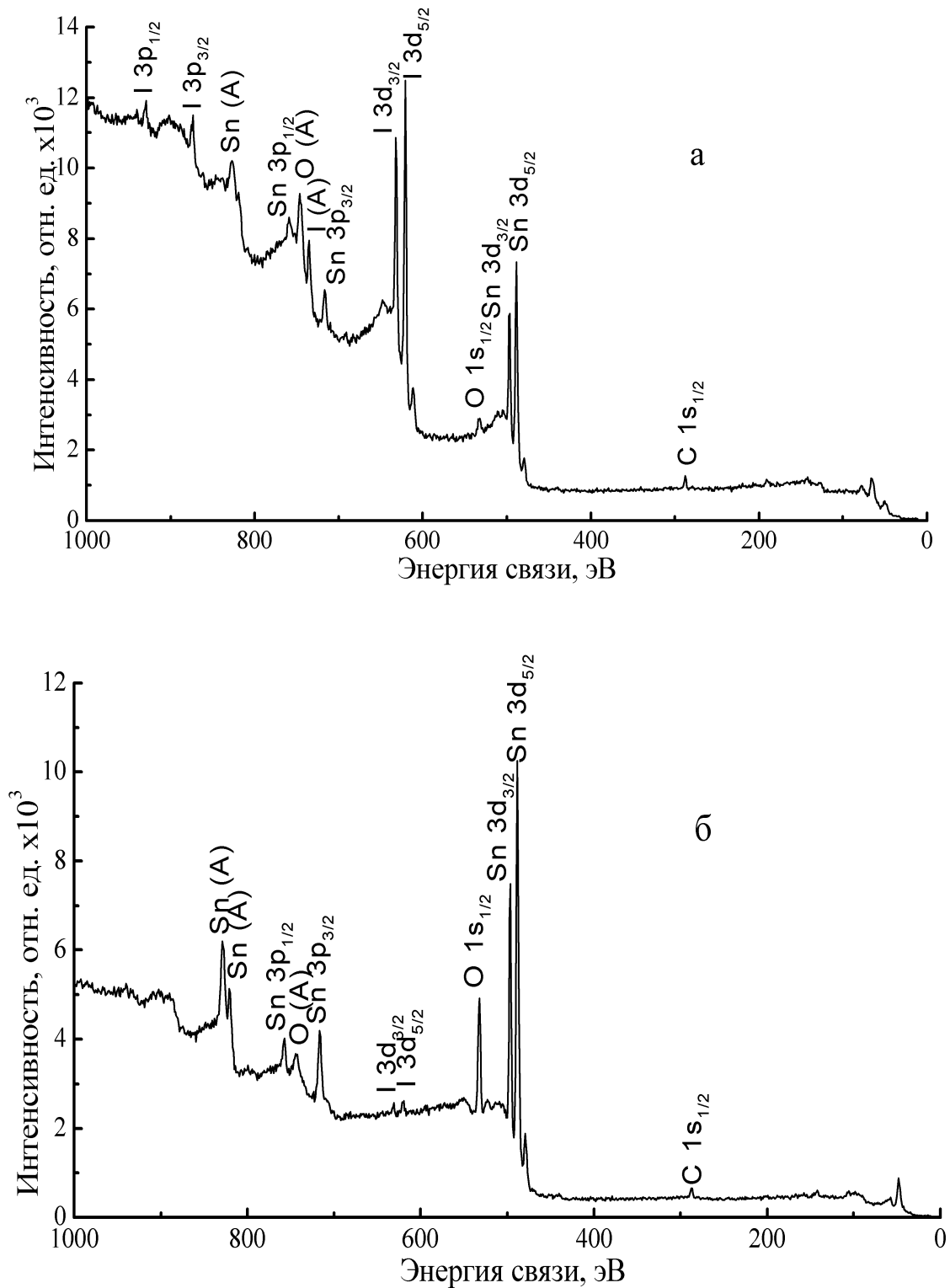


Рисунок 4 – Результаты РФС-исследований пленок: а) незасвеченная и б) засвеченная (время засветки ~30 мин), после ионного травления ($t = 3$ мин, $I = 4$ мкА)

Объем «фотоокисленного» олова меньше объема необлученного дийодида олова, поэтому происходит сжатие экспонированных участков кристаллов дийодида олова. Это приводит к деформациям в экспонированных областях. Количественные данные об относительной концентрации элементов в пленках приведены в таблице 2. Соответствующие концентрации элементов рассчитаны по формуле:

$$\frac{n_{e-aa}}{n_{Sn}} \approx \frac{\sigma_{Sn} \cdot I_{e-aa}}{\sigma_{e-aa} \cdot I_{Sn}},$$

где n – концентрация исследуемого элемента, σ – сечение фотоионизации выбранного энергетического уровня элемента рентгеновским излучением (таблица 3) [13], I – интенсивность спектральной линии, нормированные относительно олова (Sn).

Таблица 2 – Относительная концентрация элементов в пленках

Элемент	до травления	после травления
Пленка незасвеченная		
Sn	1.000	1.000
I	1.182	1.137
O	1.450	0.874
Пленка засвеченная		
Sn	1.000	1.000
I	0.050	0.019
O	3.064	2.143

Таблица 3 – Сечения фотоионизации электронных уровней атомов элементов рентгеновским излучением, отнесенные к уровню C1s

Атом	Z	1s _{1/2}	3d _{3/2}	3d _{5/2}
O	8	2.85		
Sn	50		11.1	16.1
I	53		13.3	19.3

Из таблиц 1, 2 следует, что после травления, в результате которого удалялся поверхностный, загрязненный слой, существенно изменяется относительное содержание кислорода и углерода. Последнее обстоятельство может свидетельствовать об адсорбционном происхождении большей части кислорода и углерода в пленке при синтезе. Для наглядности содержание элементов веществ и соединений в пленках до и после воздействия света, определенное методом РФС, приведено на рисунке 5 а, б в виде диаграмм.

В процессе травления содержание SnI₂ и SnO₂ как в незасвеченной, так и в засвеченной пленке меняется незначительно (рисунок 5). Избыток свободного кислорода, адсорбированный поверхностным слоем, почти полностью удаляется после травления.

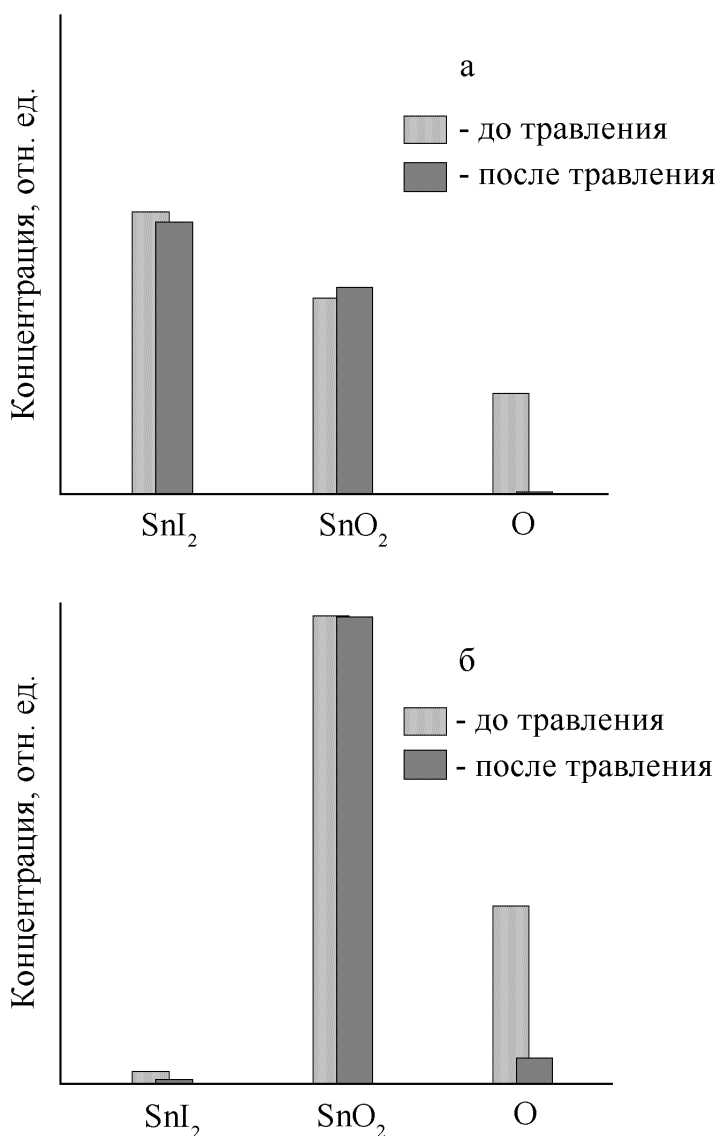


Рисунок 5 – Пленка а) незасвеченная и б) засвеченная

В обоих случаях травление поверхности приводит к заметному уменьшению содержания углерода в поверхностном слое, большая часть которого обусловлена слоем углеводородов, оседающих на образце в результате проникновения в объем спектрометра паров диффузионного масла, дегазации органических прокладок и т.д. Оставшийся в пленке углерод можно объяснить загрязнением в процессе приготовления пленки, как, впрочем, и существование в незасвеченной пленке SnO₂ (довольно низкий вакуум в системе при синтезе).

Как и в незасвеченной пленке, в пленке, подвергшейся воздействию света, концентрация углерода после травления снижается более чем в два раза. По сравнению с незасвеченной пленкой после аргонового травления остается больше кислорода, что можно объяснить проникновением кислорода вглубь образца в ходе засветки вследствие возникновения деформаций, о которых упоминалось выше. Уменьшение содержания углерода в засвеченной пленке по сравнению с незасвеченной объясняется особенностями самой засветки. Одновременное воздействие на пленки света и температуры выше комнатной способствовало испарению легколетучих углеводородов с поверхности даже из более глуболежащих слоев пленки.

Таким образом, на основании результатов исследования светочувствительности дийодида олова в атмосферах различных газов, ее зависимости от давления, определения продуктов фотолиза в SnI₂ с помощью кварцевого измерителя толщины и методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии можно сделать вывод о том, что облучение таких пленок интегральным световым потоком приводит практически к полному превращению SnI₂ → SnO₂, следствием чего и является обесцвечивание пленок.

5. О механизме светочувствительности SnI₂

Рентгеновскими методами (рентгено-спектральный, РФС-метод, оже-спектроскопия) установлено, что конечным продуктом засветки SnI₂ является SnO₂. Фотолиз (или фотодиссоциация) твердых тел, к которым принадлежит йодид олова, является сложным процессом и состоит, на наш взгляд, из двух основных стадий.

Первая стадия – электронная, поскольку предполагается, что в начальный момент под действием света в веществе разрушаются связи, в результате чего могут появляться свободные электроны, ионы, атомы. Вторая – ионная стадия включает диффузию атомов (ионов) к местам агрегации и образование новых соединений. Эту стадию называют диффузионной. Если электронная стадия в твердом теле связана с переносом заряда, то характерной особенностью ионной стадии фотолиза является транспорт массы.

Процесс переноса электронов к поверхности твердого тела или от нее сопровождается образованием двойного слоя. Двойной слой может возникать за счет инжекции носителей заряда в зону полупроводника или экстракции их из нее, поскольку при этом плотность носителей тока (особенно вблизи поверхности, где влияние электрических контактов наиболее велико) существенно изменяется. Вторым примером может служить фотоотклик полупроводника. Фотоэлектроны, возбужденные светом из валентной зоны в зону проводимости, часто возвращаются в основное состояние через поверхностные центры (центры рекомбинации). Поэтому существующий вблизи поверхности двойной слой решающим образом влияет на скорость такого процесса.

Сформированный в результате переноса зарядов двойной слой на поверхности полупроводника следует интерпретировать как пространственный заряд, образованный распределенными в твердом теле ионами. Как электрические, так и химические свойства твердого тела значительно изменяются при образовании на его поверхности двойного слоя [14].

Образование двойного слоя на поверхности полупроводника может объяснить фотохимические преобразования, происходящие в тонких пленках дийодида олова на диэлектрике (стекло).

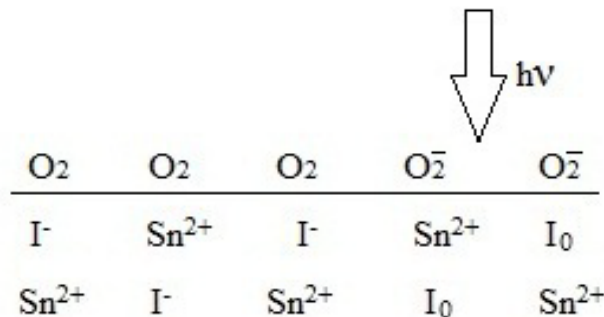
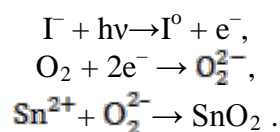


Рисунок 6 – Схематическое изображение двойного слоя

Известно, что кислород не может длительное время существовать в атомарном состоянии. Довольно быстро атомы его группируются в молекулы, и химическая активность кислорода при этом понижается, но остается достаточно высокой. Молекулярный кислород, абсорбированный открытой поверхностью полупроводника, является центрами захвата свободных электронов, образованных в результате превращения иона йода Γ в нейтральный атом I_0 и свободный электрон e^- (рисунок 6). Иод не взаимодействует непосредственно с благородными металлами, инертными газами, кислородом, азотом, углеродом. Иод испаряется в виде молекулы I_2 . Молекула кислорода способна захватить два свободных электрона, превращаясь при этом в ион O_2^{2-} . На следующем этапе происходит соединение иона олова Sn^{2+} с ионом кислорода, завершающийся образованием молекулы SnO_2 :



Заклучение

Установлено, что дийодид олова (SnI_2) обладает явлением полиморфизма и может находиться в двух модификациях: моноклинной α - SnI_2 и гексагональной β - SnI_2 . Модификация β - SnI_2 , обладающая свойством светочувствительности, образуется в результате нагрева α - SnI_2 -модификации.

На основании результатов исследования светочувствительности дийодида олова в атмосферах различных газов, ее зависимости от давления, определения продуктов фотолиза в SnI_2 с помощью кварцевого измерителя толщины и методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии делается вывод о том, что облучение тонких пленок интегральным световым потоком приводит практически к полному превращению $SnI_2 \rightarrow SnO_2$.

Воздействие световых излучений на тонкопленочные структуры приводит к состоянию термодинамической неравновесности, связанной с отклонением функции распределения атомов по энергии от термодинамического равновесия. В этих условиях энергия возбуждения расходуется на отрыв электронов от ионов йода с последующим образованием молекулы йода и его возгонкой из слоя. Образовавшиеся свободные электроны захватываются молекулами абсорбированного кислорода с последующим электростатическим их взаимодействием с ионами олова. Процесс завершается образованием молекулы SnO_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров – М. : Сов. энцикл., 1983. – 928 с.
2. Green, M., Kuku, T.A. // J. Phys. Chem. Solids. – 1983. – Vol. 44, № 16. – P. 999–1008.
3. Howie, R.A., Moser, W., Trevena, I.C. // Acta Crystallogr. – 1972. – Vol. B28, № 10. – P. 2965–2971.
4. Игуменцев, А.Н. Условия получения, кристаллическая структура и составы плёнок PbI_2 b SnI_2 / А.Н. Игуменцев [и др.] // Вісник Брєсцк. ун-та. – 1998. – № 4. – С. 37–42.
5. Костко, В.С. Структура тонких пленок дийодида олова / В.С. Костко [и др.] // Вісник Брєсцк. ун-та. – 2000. – № 6. – С. 65–69.

6. Kostko, V.S., Kostko, O.V., Makovetskij, G.I., Yanushkevich, K.I. // *Phys. stat. sol. (b)* – 2002. – Vol. 229, № 3. – P. 1349–1352.
7. Костышин, М.Т. О светочувствительности двуиодистого олова / М.Т. Костышин, В.С. Костко // Тез. докл. IV Всесоюз. совещания по фотохимии, (Ленинград, нояб. 1981 г.) – Л., 1981. – С. 51.
8. Костышин, М.Т. Фотохимический эффект в тонких слоях SnI₂ / М.Т. Костышин, В.С. Костко // I Всесоюз. конф. Оптич. изобр. и регистр. среды : тез. докл. / Л., 1982. – С. 127.
9. Костко, В.С. К вопросу о стехиометричности тонких пленок / В.С. Костко [и др.] // материалы 53-й науч.-техн. конф. профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов Бел. гос. политехн. академии, (Минск, 2–5 февр. 1999 г.). – Минск, 1999. – Ч. 2. – С. 70.
10. Ващула, И.В. Исследование тонких поликристаллических слоев методами рентгеноструктурного анализа и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / И.В. Ващула, В.П. Конашук, О.В. Костко // Науч.-метод. конф. молодых ученых (18–19 мая 1999 г.) : сб. материалов. – Брест : БрГУ, 1999. – С. 11.
11. Shirley, D.A. High-resolution x-ray photoemission spectrum of the valence bands of gold / D.A. Shirley // *Phys. Rev.* – 1972. – Vol. B 5, № 12. – P. 4709–4714.
12. Dawood, R.I. The photodecomposition of lead iodide / R.I. Dawood, A.J. Forty, M.R. Tubbs // *Proc. Roy. Soc.* – 1965. – Vol. A 284, № 1397. – P. 272–288.
13. Анализ поверхности твердого тела методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : метод. рекомендации / Бел. гос. технолог. универ.; сост. В.В. Поплавский, И.М. Жарский. – Минск, 1993. – 34 с.
14. Моррисон, С. Химическая физика поверхности твердого тела / С. Моррисон. – М., 1980. – С. 488.

V.S. Kostko. Tin Diiodide, its Polymorphism and Light-sensitive Properties

On the basis of the research results of tin diiodide light-sensitivity in the atmospheres of different gases, its dependence on pressure, finding the resultants of photolysis SnI₂ with the help of quartz gauge of thickness and by the method of X-ray photoelectronic spectrography the author comes to the conclusion about its polymorphism, the role of oxygen in the light-sensitive properties of SnI₂, its mechanism of light-sensitivity.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.11.2013