Registered in Germany Europa Revue Journal
ISSN: 1862-6564 Vol. 6 No. 10 (2026) Published October 31, 2026

STRUCTURAL PROPERTIES OF In2O3 AND SnO2 FILMS OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING

Sultanpasha Anvarovna Muzafarova

Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan, Tashkent,

Abrorjon Abduvasitovich Yuldashev

Sevara Ravshan kizi Nurmatova

Fergana State University, Fergana

Abstract

Wide-bandgap In_2O_3 and SnO_2 oxide films were fabricated singmagnetron sputtering in an argon atmosphere. In_2O_3 (indium oxide) and SnO_2 (tin oxide) films deposited on glass and silicon substrates were investigated. The atomic composition of tin in the doped oxide layer—specifically, indium tin oxide (ITO)—was determined. The electrical resistivity and carrier mobility values for the ITO films were measured. The structure of the oxides was analyzed via X-ray diffraction, and their structural properties were examined using a scanning electron microscope.

Keywords

morphology, electrical resistivity, wide-bandgap, semiconductor, metal oxides, magnetron deposition, films.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК In_2O_3 и SnO_2 ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННО ИОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПЛЕНОК ДВУОКИСИ ОЛОВА SnO_2

[1]Музафарова Султанпаша Анваровна, [2].Юлдашев Аброржон Абдуваситович, [2] Нурматова Севара Равшан кизи

[1]Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана, Ташкент,

[2] Ферганский государственный университет, Фергана,samusu@ramler.ru

Аннотация. Широкозонные оксидные плёнки In_2O_3 и были изготовлены методом магнетронного ионного распыления в аргонной среде. Исследованы

плёнки оксида индия In_2O_3 и олова SnO_2 на стеклянных и кремниевых подложках. Определен атомный состав олова в легированном слое оксида (оксида индия In_2O_3 и олова SnO_2) ITO. Определены удельное сопротивление и значения подвижности носителя в пленках оксида ITO. Проведены рентгеновский анализ структура оксидов и структурные свойства с помощью электронном сканирующем микроскопе.

Ключевые слова. морфология, удельное сопротивление, широкозонные, полупроводник, металооксиды, магнетронное нанесение, плёнки.

Введение. Оксиды цинка и индия, являясь широкозонными полупроводниками, обладают необычным сочетанием свойств — прозрачностью в видимом диапазоне электромагнитного излучения и высокой электропроводностью. Такое сочетание свойств обеспечивается большой шириной запрещённой зоны и относительно такой концентрацией подвижных носителей заряда, что плазменная частота находится в инфракрасной области спектра. Как известно, оксиды всех металлов являются эффективными катализа¬торами реакций окисления за счет активности поверхностных состояний в запрещенной зоне полупроводника. Большой научный интерес представляет проблема управления активностью оксидных катализаторов и влияние на их свойства квантово-размерных эффектов при уменьшении размеров зерен поликристаллов до нескольких нанометров.

Метрологические характеристики полупроводниковых датчиков газов определяются физико-химическими свойствами их сенсорных элементов, которые, в свою очередь, зависят от кристаллической структуры, состава и электрофизических свойств газочувствительных полупроводниковых металлооксидов. Для управления газочувствительными свойствами металлооксида необходимо установить взаимосвязь электрофизических параметров мате¬
риала с его элементным составом, кристаллической структурой и механизмами токопереноса. При уменьшении размеров кристаллов до 5 - 10 нм с количеством атомов в них порядка нескольких тысяч, могут проявляться размерные эффекты, влияние которых на газочувствительные свойства полупроводников изучены очень мало.

Несмотря на сходство с другими широкозонными полупроводниками оксиды металлов имеют ряд особенностей. Во многих случаях можно считать, что кристаллическая решётка оксидов металлов состоит из катионов металла и анионов кислорода. Из-за этого такие дефекты, как вакансии и междоузельные атомы, являются заряженными и электрически активными, то есть проявляют донорные или акцепторные свойства [1,2,5]. Предполагается что такие дефекты, а также границы кристаллитов в оксидах металлов значительно влияют на перенос заряда и электропроводность. При этом механизмы этого влияния остаются во многом невыясненными.

Исследование оксидов металлов, природа многих экспериментально наблюдаемых особенностей электрофизических и гальваномагнитных свойств остается до конца что электропроводность плёнок оксидов цинка и индия существенно зависит от условий их синтеза [3,4,7]. При этом значения электропроводности, представленные в литературе, изменяются от типичных для вырожденных полупроводников. с зонным механизмом проводимости до очень малых, характерных для изоляторов с активационной или прыжковой проводимостью. Это указывает на то, что при определённом уровне дефектности в плёнках оксида металлов может происходить локализация подвижных носителей заряда.

Методика синтеза пленок In_2O_3, SnO_2, ITO (In_2O_3:Sn) . Плёнки, исследованные в работе, были изготовлены методом магнетронное ионного распыления -МСИР. Схема установки для распыления представлена на Рис.1. Распыление осуществлялось в камере, заполненной рабочим газом. Под воздействием напряжения в камере из рабочего газа образуется плазма, ионы плазмы, ускоренные электрическим полем, при соударении с мишенью выбивают атомы мишени, которые впоследствии осаждаются на подложку (Рис.1). Частицы плазмы удерживаются вблизи поверхности мишени магнитным полем, что делает процесс взаимодействия более эффективным и контролируемым [1,6,7].



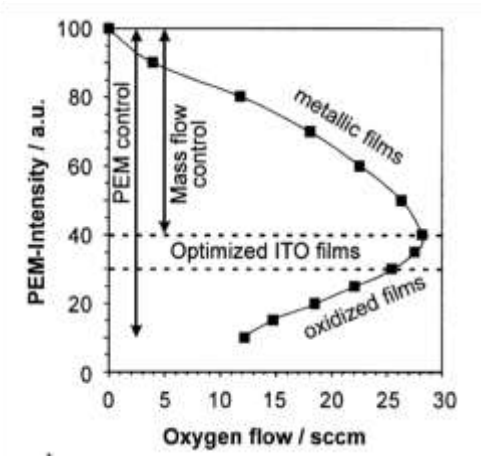


Рис .1 Схема процесса магнетронного распыления

Рис .2. Интенсивность МСИР излучения ионов индия в плазме [2]

Для изготовления пленок оксида металла и их смеси использовали мишень с различным составом атомов олова Sn, In в оксиде ITO соответственно .

Для синтеза пленок была использована метал-оксидная мишень, состоящая из спеченных In_2O_3 и SnO_2 в массовой пропорции 9:1. Давление смеси рабочего газа во время распыления составляло 0,399 мПа. В качестве рабочего газа использовался аргон. Пленки осаждались на стеклянные и кремниевые подложки. Пленка ITO была осаждена при комнатной температуре и при нагреве $T=240C^0$ с специальной последующей обработки поверхности стекла и кремния. Для получения пленок с пониженным содержанием кислорода распыление проводилось в режиме контроля образования плазмы, который позволяет контролировать интенсивность распыления и постоянство стехиометрии пленки [2,3]. Процесс осаждения контролировался по интенсивности излучения от ионов индия в плазме в рабочей камере магнетронной системы. Распыление МСИР проводилось в среде с пониженным содержанием кислорода в условиях с интенсивностью излучения от ионов индия в два раза меньшей, чем в режиме получения пленок с наиболее высокими показателями проводимости и прозрачности. Толщина пленок составляла d = 80 нм . В таблице 1. представлены некоторые технологические параметры синтеза и характеристики исследованных пленок ITO в зависимости от состава олова.

Таблица 1.

Параметры синтеза и характеристики исследованных плёнок ITO использовались мишенью различным составом атомов олова Sn в оксиде In_2O_3, %.

Слой оксида	Метод синтеза	Подложка	Температура синтеза, C^0	Толщина,слоя оксида,нм	Sn, ат %
ITO	МСИР	стекло	23	80	3,65
ITO	МСИР	стекло	240	80	3,5
ITO	МСИР	Si	23	80	4,40
ITO	МСИР	Si	240	80	4,04

На рисунке 3. показаны изображения, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии для пленок ITO. Пленки ITO, были осаждены методом магнетронного ионного распыления на подложки кремния и на стекле в тех же условиях в данной работе.

Концентрация олова в пленках ITO определялась на основе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (Табл.1). Согласно полученным данным, в пленках оксида индия, легированных оловом, синтезированных в условиях с пониженным содержанием кислорода, наблюдается более высокая плотность состояний между максимумом валентной зоны и уровнем Ферми, чем у пленок, полученных на аморфном кремнии.

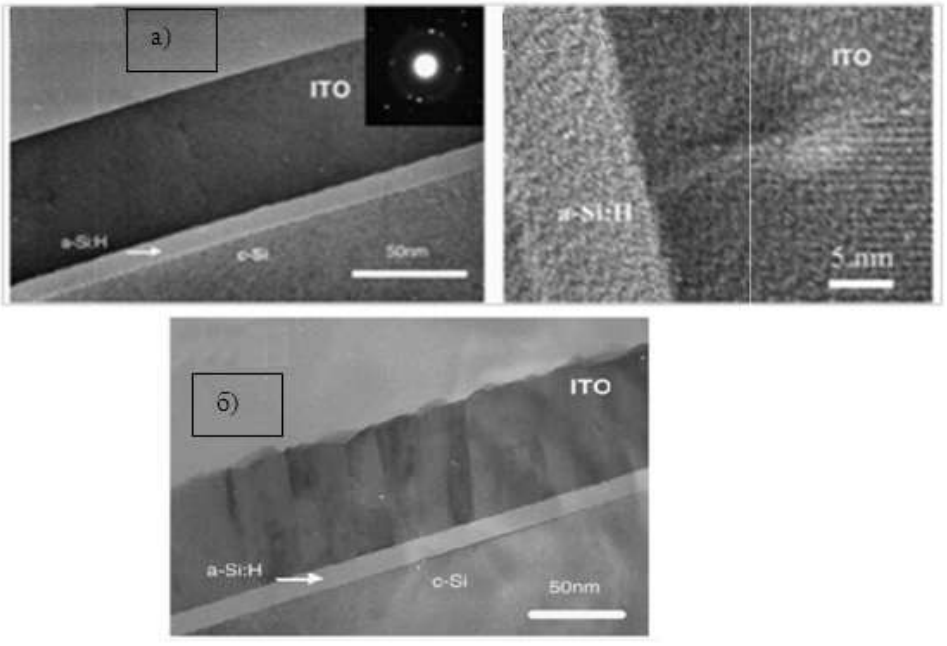


Рис.3. Изображения, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии пленок ITO (а - на стекле) и ITO (б - на подложки кремния)

В силу идентичности всех параметров осаждения структура пленок ITO на подложках из кремния, похожа на структуру пленок, исследованных в данной работе, осаждённых на стеклянные подложки в тех же технологических условиях (Рис.4).

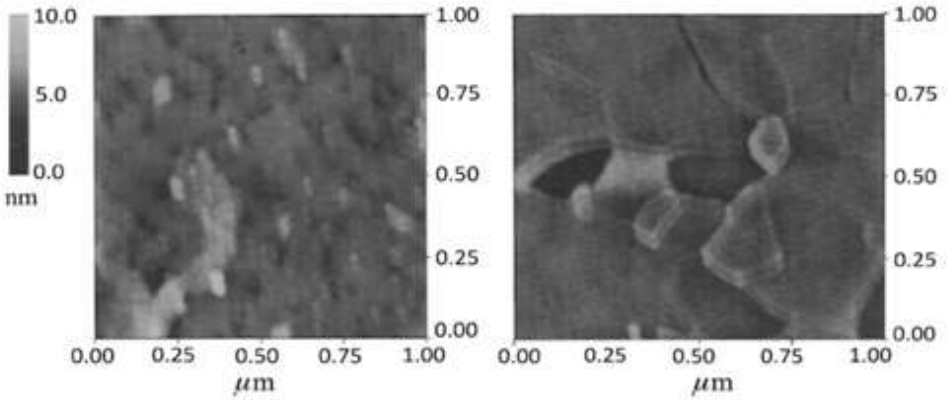


Рис .4. Изображения пленок ITO, осажденных при комнатной температуре на стеклянной подложке полученные методом атомной силовой микроскопии

Исследованы температурные зависимости сопротивления пленок ITO в интервале температур T= 4,2-300K эффект Холла в магнитных полях до 5.5 Тл. Измерение эффекта Холла и температурной зависимости сопротивления были проведены четырехзондовым методом в режиме постоянного тока. Типичные значения тока составляли 0,1-100 мкА в зависимости от сопротивления пленок ITO. Для исключения вклада от паразитных термо ЭДС и других постоянных наводок измерения проводились при двух направлениях тока. Измерения эффекта Холла также проводились при двух направлениях магнитного поля.

Величина удельного сопротивления (ρ_{xx}) и холловской компоненты сопротивления (ρ_{xy}) рассчитывались по формулам:

$$\rho_{xx} = \frac{U_{xx} d_{ss}}{I d_{ss}} d_{\text{пленки}} \qquad (2.1)$$

$$R_{xy} = \frac{U_{xy}}{I}, \qquad (2.2)$$

где U_{xy} – напряжение с поперечных (по отношению к направлению тока) контактов, U_{xy} –напряжение с продольных контактов, I- сила тока в образце, d_{ij} – расстояние между контактами i и j (6), $d_{пленки}$ – толщина пленки. Концентрации n и подвижности μ электронов были рассчитаны по формулам:

$$\mu = \frac{1}{en\rho_{xx}(B=0)} \qquad (2.3)$$

$$n = \frac{B}{R_{xy}d_{пленки}} \qquad (2.4)$$

где ρ_{xx}, –продольная компонента удельного сопротивления, e – элементарный заряд, B – магнитная индукция. На рисунке 5. изображены исследуемые образцы и указаны их характерные размеры.

Контактные площадки на образцах были сформированы напылением золота через маску. К контактным площадкам припаивались медные микропровода диаметром 25 мкм. Припаивание проводилось сплавом InSnPb. Вид сверху образцов с контактами для гальваномагнитных измерений показан на рисунке 5.

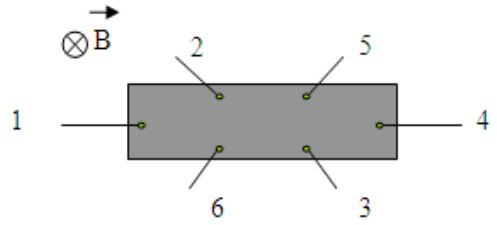


Рис.5. Расположение контактов для гальваномагнитных измерений:1,4 – токовые контакты; 2,5,6,3 -потенциальные контакты

Измерения температурной зависимости сопротивления и эффекта Холла проводились в металлическом гелиевом криостате. Магнитное поле величиной до 6 Тл создавалось сверхпроводящим соленоидом. Измерение магнетосопротивления и эффекта Холла проводилось четырех контактным методом. Измерение температуры проводилось термопарой медь-константан.

Проводились оценка погрешности измерений. Определение температуры осуществлялось с использованием термопары медь-константан в диапазоне от 4.2 К до 300 К. Напряжение на термопаре измерялось с точностью до 1 мкВ, что позволяет определить температуру по термопаре в интервале 77÷300К с

точностью до 0.05 К, в интервале 25÷77 К с точностью 0.1 К, в интервале 4.2÷25 К с точностью 0.3 К.

Ток через образец измерялся с погрешностью 0.01 мкА. Погрешность измерений холловского напряжения на образце была не более 0.1 %. Ток через соленоид определялся по падению напряжения на эталонном сопротивлении с погрешностью 10 мА, что позволяло определить величину напряженности магнитного поля с погрешностью 0.002 Тл. Линейные размеры образцов измерялись с помощью измерительного микроскопа с погрешностью 0.1 мм. Такие погрешности определения величин напряженности магнитного поля, тока и размеров образца приводила к максимальной погрешности определения удельного сопротивления и концентрации электронов не более 5 %, а подвижности электронов не более 9%. При определении длины диффузии за время релаксации фазы волновой функции из анализа отрицательного магнетосопротивления погрешность составляла не более 8%.

Выводы. Полученные плёнки оксида In_2O_3 и SnO_2 на стеклянных и кремниевых подложках методом МСИР, где использовались мишень с различным составом атомов олова Sn в оксиде In_2O_3,%. Плёнки оксида In_2O_3: Sn имели n-тип проводимость и вычислены электрофизические параметры. Определен атомный состав олова в легированном слое оксида ITO. Вычислены удельное сопротивление и значения подвижности носителя в пленках оксида ITO. Проведены рентгеновский анализ структур оксида ITO и структурные свойства с помощью электронном сканирующем микроскопе АСМ. Анализ составляющих погрешности измерений показывает, что основной вклад в погрешность определений параметров вносит погрешность измерения линейных размеров образца с учетом расположения и размеров площадок контактов.

Литература

1. Braun, M., Handbook of Manufacturing Engineering and Technology: Magnetron Sputtering Technique. – London: Springer-Verlag, 2013. – pp. 25.

2. May, C., Strumpfel, J. ITO coating by reactive magnetron sputtering-comparison of properties from DC and MF processing// Thin Solid Films. – 1999. –v. 351. – p. 48-52.

3. Kytin, V.G., Kulbachinskii, V.A., Reukova, O.V., Galperin, Y.M., Johansen, T.H., Diplas, S., Ulyashin, A.G. Conducting properties of In_2O_3:Sn thin films at low temperatures // Appl. Phys. A. 2014. - v.114. – Issue. 3. - p. 957-964.

4. Diplas, S., Ulyashin, A., Maknys, K. On the processing–structure–property relationship of ITO layers deposited on crystalline and amorphous Si // Thin Solid Films. – 2007. – v.515. – p.85398543.

5. Wittkowski, T., Jorzick, J., Seitz, H., et.al. Elastic properties of indium tin oxide films // Thin Solid Films. – 2001. – v.398-399. – p.465-470.

6. Sh. B. Utamuradova, S.A Muzafarova. Z.S Kenzhaeva. Study of surface states of in-nITO - pCdTe structures based on large-block polycrystalline films pCdTe IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP) Volume 14, Issue 1, and Ser. I (Jan–Feb. 2022), pp. 51-56.

7. Sh. B. Utamuradova, S.A Muzafarova, A.S Achilov . Electrical and Optical Properties of Thin-Film Wide-Gap Metal Oxides SnO_2, In_2O_3 , ITO ,CdO ,MoO_3/ INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH AND ANALYSIS ISSN(print): 2643-9840, ISSN: 2643-9875 , Volume 07 ,ssue 04 .April ,2024 , DOI: 10.47191/ijmra/v7-i04-21, Impact Factor: 8.22 Page No. 1612-1615.