



MICROSTRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF SnO₂ THIN FILMS

Madrakhimov Muminzhon Mukhidinovich — Doctoral Student

Khidirov Dadakhon Sherkozievich — Assistant

Fergana State Technical University

Abstract. This article investigates the microstructure, electrical and optical properties, and gas sensitivity of AsGa-doped SnO₂ thin films obtained by thermal evaporation in vacuum.

Keywords: SnO₂ thin films; VUP-4; isothermal annealing; microstructure; electrical and optical properties; X-ray diffraction; electron microscopy; gas sensitivity; ultrafine particle model.

МИКРОСТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК SnO₂

Мадрахимов Муминжон Мўйдинович — докторант

Хидиров Даҳаон Шерқозиевич — асистент

Ферганский государственный технический университет

Аннотация. В данной статье исследованы микроструктура, электрические и оптические свойства, а также газочувствительность тонких плёнок SnO₂, легированных AsGa, полученных методом термического испарения в вакууме.

Ключевые слова: тонкие плёнки SnO₂; VUP-4; изотермический отжиг; микроструктура; электрические и оптические свойства; рентгеновская дифракция; электронная микроскопия; газочувствительность; модель сверхмалых частиц.

Введение. Тонкие полупроводниковые плёнки SnO₂ используются как чувствительные слои в интегральных газовых датчиках для мониторинга окружающей среды и определения концентрации токсичных и взрывоопасных газов в воздухе [1–3]. Взаимодействие газа с плёнкой SnO₂ приводит к изменению её электропроводности пропорционально концентрации газа. Основными факторами, определяющими газочувствительность, являются электрическое сопротивление плёнок, наличие и механизм переноса носителей заряда.

Поскольку рабочая температура газовых сенсоров достигает 400 °C, а плёнки SnO₂ получают при низких температурах, для стабилизации электрических параметров и структуры они подвергаются длительному высокотемпературному отжигу. Целью работы является изучение влияния изотермического отжига на электрические и оптические свойства, микроструктуру и газочувствительность плёнок SnO₂, а также определение механизма токопереноса в плёнках SnO₂, полученных методом магнетронного распыления.

Образцы и экспериментальная методика. Поликристаллические плёнки SnO₂ получали методом термического испарения (VUP) в установке VUP-4 в атмосфере Ar (25%) и O₂ (75%) с добавлением AsGa (3 объёма) из оловянной мишени (99,98%).



Осаждение проводилось на стеклянные подложки без их нагрева. Толщина плёнок, измеренная интерференционным микроскопом МИИ-4, составляла 1–5 мкм в зависимости от расстояния между тиглем и подложкой.

Поверхностное сопротивление измерялось методом четырёхзондового контакта с использованием установки ЦИУС-1. Концентрация свободных носителей и их подвижность определялись методом Ван-дер-Пау в диапазоне температур 20–400 °C в магнитном поле 0,63 Т. Оптические спектры пропускания, коэффициенты поглощения и энергетические параметры определялись с помощью спектрофотометра СФ-16 в диапазоне длин волн 300–1200 нм.

Результаты и обсуждение. Полученные плёнки имели прозрачную желтоватую окраску и гладкую поверхность, аналогичную описанной в [5] при содержании кислорода 75%. Оптические спектры показали (рис. 1), что коэффициент поглощения плёнки составляет $(10^3\text{--}10^4)$ см⁻¹, в то время как поглощение стеклянной подложки — $\alpha = (2\text{--}20)$ см⁻¹. Край собственного поглощения расположен в области (2,8–3,3) эВ. Для оценки ширины запрещённой зоны спектры были представлены в координатах $\alpha^2 = f(hv)$ (прямые переходы) и $\alpha^{1/2} = f(hv)$ (непрямые переходы). Лучшая аппроксимация наблюдалась в координатах $\alpha^{1/2} = f(hv)$, где ширина запрещённой зоны $Eg \approx 3$ эВ, что меньше табличного значения для монокристаллов SnO₂ ($Eg \approx 3,6$ эВ). Это объясняется нестехиометрией и высокой концентрацией дефектных состояний, образующих «хвосты» в запрещённой зоне.

Поверхностное сопротивление свежеполученных плёнок составляло $Rs = 10^2\text{--}10^3$ Ом/с, однако при нагреве до 400 °C и охлаждении параметры были нестабильными. После

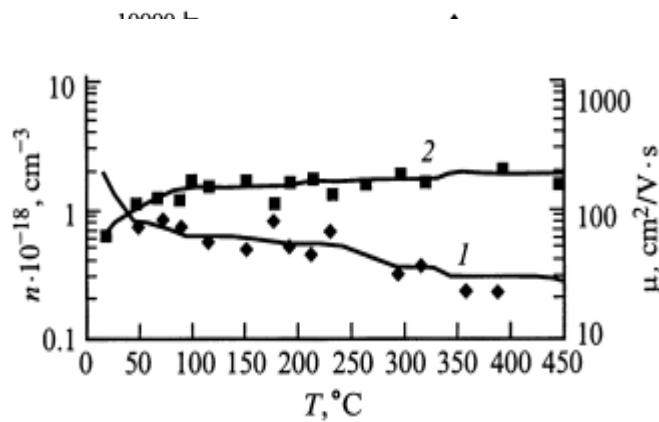


Рис. 2. Температурные зависимости концентрации (1) и подвижности (2) свободных носителей заряда в термически обработанных плёнках SnO₂.

изотермического отжига при $T = 600$ °C в течение 4 часов сопротивление стабилизировалось.



Измерения концентрации и подвижности носителей (рис. 2) показали, что концентрация электронов уменьшается до $\sim 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ с ростом температуры, а подвижность растёт от 70 до $150 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ при 130°C и далее остаётся почти постоянной. Такое поведение связано с взаимодействием кислородных вакансий с молекулами кислорода воздуха [8].

Рентгенодифракционный анализ (рис. 3) показал наличие только тетрагональной фазы SnO_2 ($a = 0,4760 \text{ нм}$, $c = 0,3178 \text{ нм}$). Фазы, соответствующие AsGa , не обнаружены, что

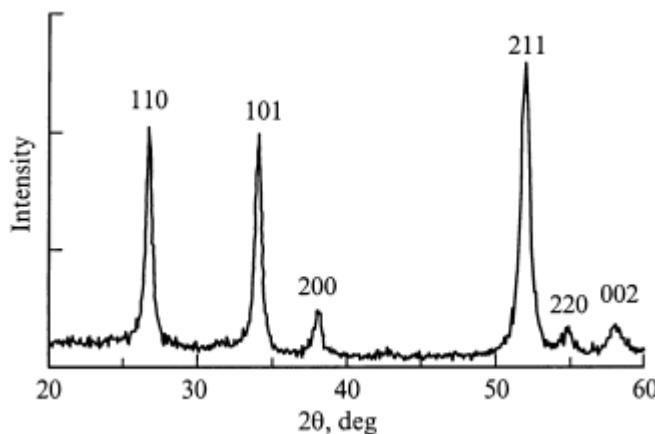


Рис. 3. Рентгеновская дифракция плёнки SnO_2 после термической обработки.

может свидетельствовать о формировании твёрдого раствора замещения или внедрения. Средний размер кристаллитов, рассчитанный по формуле Шеррера, составлял 11–19,4 нм.

Заключение. Установлены методы и параметры получения плёнок SnO_2 , легированных AsGa , методом термического испарения (VUP). Для стабилизации электрических параметров выбран режим отжига $T = 600^\circ\text{C}$, $t = 4 \text{ ч}$. Изучены структура, электрические и оптические свойства плёнок. Показано, что плёнки обладают высокой газочувствительностью и могут использоваться в качестве активного слоя твёрдотельных газовых датчиков.

Список литературы.

1. С.И. Рембеза, Т.В. Свистова, Е.С. Рембеза, О.И. Борсякова. Микроструктура и физические свойства тонких пленок SnO_2 . Журнал «Физика — Техника полупроводников», №7, 2001, Т.35.
2. В.И. Стафеев, И.М. Вакулин. S-диоды // В сборнике *Полупроводниковые приборы и их применение*, 1974, Вып. 28, С. 23–56.
3. А.П. Рягузов, Р.Р. Немкаева, Н.Р. Гусейнев, Д.М. Матырбаева. Современные технологии в науке и образовании // В сборнике *СТНО-2017*, под ред. О.В. Миловзоровой (Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2017), С. 182.
4. П.В. Серёгин. Фотолюминесцентные свойства пористого кремния и методы их модификации. Журнал «Физика — Молодой учёный», №10(45), октябрь 2012.
5. N.Barsan., U. Weimar.(2001). Conduction model of metal oxide gas sensors. *Journal of Electroceramics*, 7(3), 143–167.



Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods

Volume 3, Issue 11, November 2025

<https://westerneuropeanstudies.com/index.php/1>

ISSN (E): 2942-1896

Open Access| Peer Reviewed



This article/work is licensed under CC Attribution-Non-Commercial 4.0

6. A. Gurlo. (2006). Nanosensors: towards morphological control of gas *sensing activity*. *Nanotechnology*, 17(7), S27–S45.
7. G. Eranna., B. C. Joshi., D. P. Runthala., R. P. Gupta. (2004). Oxide materials for development of integrated gas sensors—A comprehensive review. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 29(3–4), 111–188.