HIGH-TEMPERATURE ANNEALING OF ITO (In_2O_3: Sn) OXIDE FILMS IN VACUUM AND NEUTRAL ENVIRONMENTS

Muzafarova Sultanpasha Anvarovna
Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the National University of Uzbekistan;
Yuldashev Abrorjon Abduvasitovich
Nurmatova Sevara Ravshan qizi
Fergana State University, Fergana

Abstract

ITO (In_2O_3:Sn) films, synthesized under optimal conditions at 550°C for 0.75 hours, exhibited a transparency of over 90%, a surface resistance of 300 Ω/sq, and a resistivity (ρ) of 9.4×10^{-3} Ω·cm. High-temperature annealing was employed to reduce the resistance of these resistive coatings. This method facilitates the elimination of inhomogeneities that may be present in the coating prior to heat treatment. Initially, the coating expands due to the coalescence of vacancies; subsequently, at higher temperatures, it contracts as a result of the annihilation of vacancies and the formation of dislocation loops. Parallel experiments conducted on three samples at each temperature demonstrated the reproducibility of the results.

Keywords

annealing, neutral environment, films, oxide, resistance.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОТЖИГ В ВАКУУМЕ И В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ ОКСИДНЫХ ПЛЁНОК ITO (In_2O_3: Sn)

Muzafarova Sultanpasha Anvarovna Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics under the National University of Uzbekistan,
Yuldashev Abrorjon Abduvasitovich, Nurmatova Sevara Ravshan qizi
Fergana State University, Fergana

Аннотация. Полученные в оптимальных условиях синтеза при 550°C в течении 0,75 ч плёнки ITO (In_2O_3: Sn) покрытия характеризовались прозрачностью более 90 % и поверхностным сопротивлением ρ = 300 Ом.см, удельным сопротивлением 940^{-3} Ом.см . При помощи высокотемпературного отжига осуществлено уменьшение сопротивления резистивных покрытий. Этот метод позволяет ликвидировать неоднородности, которые могут существовать в покрытие перед термообработкой. Вначале покрытие расширяется вследствие срастания вакансий, а затем при более высоких температурах она сжимается вследствие разрушения вакансий и образования дислокационных колец. Проведение параллельных опытов на трех образцах при каждой температуре показало воспроизводимость экспериментов.

Ключевые слова. Отжиг, нейтральная среда, плёнки, оксид, сопротивление,

Отжиг в вакууме и в нейтральной среде. Известно [1], что отжиг плёнок ITO (In_2O_3: Sn) в среде водорода может привести к уменьшению кислородных вакансий, которые играют роль доноров в ITO (In_2O_3: Sn), однако, отжиг также обеспечивает энергию для удаления дефектов материала плёнок ITO (In_2O_3: Sn). Повышение проводимости объясняется кислородными вакансиями, которые образуются в ITO (In_2O_3: Sn) при восстановлении водородом. С целью повышения проводимости покрытия, проводился **отжиг в вакууме** при температурах 450 и 500 и 600 °C. Отжиг проводился в вакуумной камере Альфа-1 при вакууме порядка 10^{-5}. Установка «АЛЬФА-01» позволяет проводить отжиг до 600 ˚С, как в вакууме, так и в среде инертного газа. Установлено, что выдерживание в вакууме при температуре 600 °C свыше 10 минут приводит к разрушению покрытия. Результаты представлены в табл1 и рис.1. На основании полученных данных можно сделать вывод, что отжиг в вакууме в течение 4 минут при температурах 450 приводит к уменьшению поверхностного сопротивления ITO (In_2O_3: Sn)

покрытия на порядок (от 30 до 3 Ком при 450 ^{0}C.

Таблица 1. Поверхностное сопротивление плёнки ITO (In_2O_3: Sn) покрытия после отжига в вакууме

Время отжига в вакууме	Температура пиролиза								
	450 °C			500 °C			600 °C		
	Поверхностное сопротивление, кОм/^								
Без отжига	23,81	16,49	30,0	62,0	71,0	62,0	66,0	62,0	62,0
2 мин	6,29	5,0	5,70	6,2	5,4	5,4	20,0	17,8	-
3 мин	4,42	3,10	4,06	5,4	5,0	4,6	15,6	14,7	15,6
4 мин	4,21	2,39	3,19	5,2	4,8	4,5	14,7	14,0	15,1
5 мин	6,17	3,9	4,70	6,4	5,5	5,0	16,6	16,1	17,2
6 мин	9,43	7,8	8,2	6,8	6,8	6,2	67,1	21,7	20,0

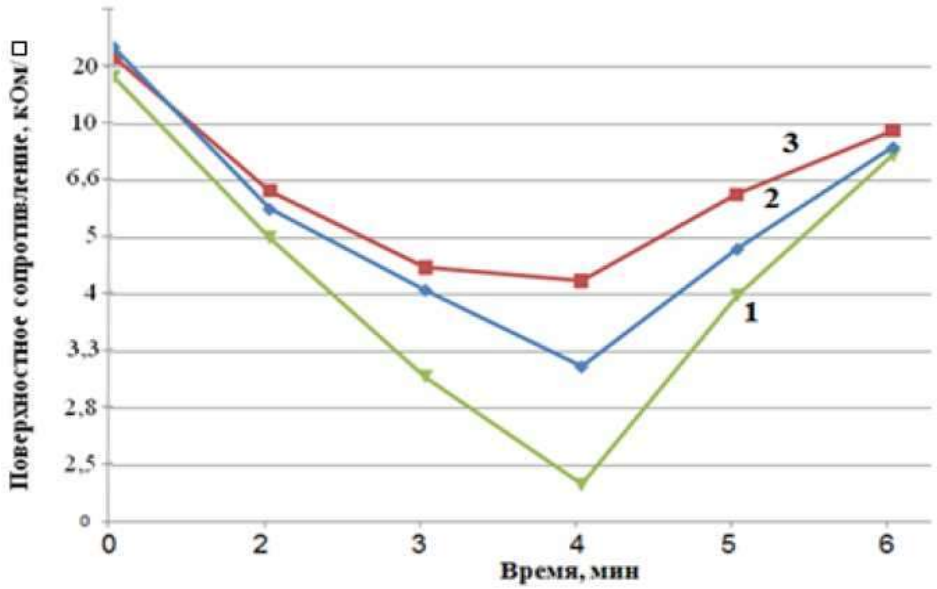


Рисунок 1 - Зависимость поверхностного сопротивления ITO (In_2O_3: Sn) покрытий, полученных при различных температурах пиролиза: 1 - 450 °C, 2 - 500 °C, 3 - 600 °C, от времени и температуры отжига в вакууме при температуре 450 °C

Повышение времени отжига в вакууме от 4 до 10 мин приводит к возрастанию поверхностного сопротивления ITO(In_2O_3:Sn) покрытий в результате потери компонентов и нарушения стехиометрии. Поэтому отжиг в вакууме нужно

проводить в течение 3-4 минут. Проведенное исследование показало, что отжиг в вакууме целесообразно проводить при 450 °C, поскольку повышение температуры приводит к испарению компонентов покрытия и повышению его поверхностного сопротивления [2,3].

Проведен отжиг плёнок ITO(In_2O_3:Sn) покрытия в нейтральной среде Ar. Вакуумная камера была предварительно откачана, затем впущен газ аргон. Результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2- Поверхностное сопротивление покрытия In9SnO15 после отжига в аргоне

Время отжига	Температура отжига					
	450 °C			600 °C		
	Поверхностное сопротивление, кОм/^					
Без отжига	52,6	52,6	62,5	50	50	50
2 мин	35,7	35,7	38,4	18,1	19,6	21,7
4 мин	29,4	27,7	23,8	16,3	16,1	18,1
6 мин	6,8	6,5	6,9	13,5	14,7	16,3
10 мин	4,6	4,9	4,8	9,17	10,0	12,0
15 мин	4,2	4,2	4,0	6,4	6,5	7,1
20 мин	3,5	3,8	3,8	8,1	8,6	8,4

Поверхностное сопротивление плёнок ITO (In_2O_3: Sn) покрытия снижается с повышением времени выдержки образцов в аргоне при температурах 450 и 600 °C. При этом отжиг при температуре 450 °C приводит к более эффективному, чем при 600 °C снижению поверхностного сопротивления плёнок ITO (In_2O_3: Sn) покрытия.

Отжиг обычно используется в удалении дефектов материала, тепловая энергия может увеличить вибрации и диффузии атомов решетки для достижения более желательной кристаллической структуры.

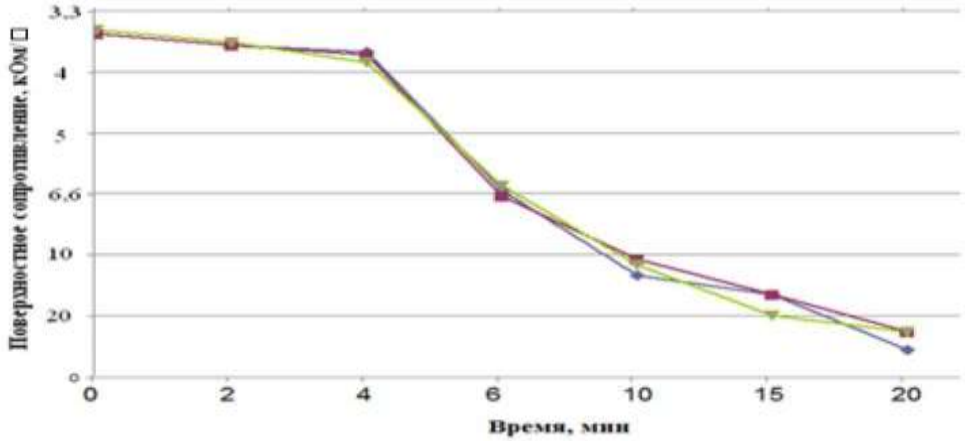


Рисунок 2 - Зависимость поверхностного сопротивления плёнок ITO (In_2O_3: Sn) покрытия от времени отжига в аргоне при температуре 450 °C для трех образцов

Электрическое сопротивление уменьшается с ростом температуры, чем можно объяснить увеличение концентрации носителей заряда. Дополнительный отжиг в вакууме и в инертной атмосфере приводит к уплотнению покрытия, полученной наслаиванием и пиролизом экстрактов, и снижению её поверхностного сопротивления. Необходимо отметить, что при нанесении медных контактов методом вакуумного напыления поверхностное сопротивление ITO (In_2O_3: Sn) покрытия также снижается.

Литература

1. Shang-Chou Chang Low-pressure H2/N2 annealing on indium tin oxide film / Shang-Chou Chang // Microelectronics Journal 38 (2007) 1220-1225.

2.Effect of ITO spreading layer on performance of blue light-emitting diodes / MV Bogdanov, KA Bulashevich, OV Khokhlev, I.Yu. Evstratov, MS Ramm, S.Yu. Karpov // Phys. stat. solid. - 2010. - No. 7-8. - P. 2127-2131.

3.Effects of substrate temperature and vacuum annealing on properties of ITO films prepared by radiofrequency magnetron sputtering / N. Boonyopakorn, N. Sripogpun, C. Thanachayanont, S. Dangtip // Chin. Phys. Lett. - 2010. - Vol. 27, No. 10. - P. 103-108.