



2.4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ITO, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Г.С.Хрипунов, Г.В.Юрченко

Харьковский Государственный политехнический университет, г. Харьков, Украина

В работе исследовались электрические и оптические свойства пленок ITO, полученных при температурах подложки от 200 °С до 500 °С путем неактивного магнетронного распыления механической смеси 95% In₂O₃ и 5% SnO₂. Было показано, что пленки ITO осажденные при температуре подложки 300 °С обладают оптимальным сочетанием оптических и электрических свойств: величина удельного электросопротивления пленок толщиной 0.61 мкм составляет $2.1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при средней прозрачности в видимой области 88%, фактор качества достигает величины $8.2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1}$.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время тонкие пленки ITO, полученные методом магнетронного распыления, привлекают внимание исследователей благодаря уникальному сочетанию низкой удельной электропроводности и высокого коэффициента пропускания в видимой части солнечного спектра [1]. Такие пленки используются в конструкции фронтальнобарьерных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) в качестве прозрачных, проводящих электродов на завершающем этапе их изготовления, либо в конструкции тыльнобарьерных ФЭП, где они являются пленочным широкозонным «окном» на которое затем осуществляется нанесение базовых слоев [2]. В первом случае температура подложки при формировании слоя ITO определяет не только его оптоэлектрические характеристики, но и интенсивность межфазного взаимодействия данного слоя с сопрягающимся нижележащим базовым слоем. При формировании тыльнобарьерных ФЭП температура подложки при получении ITO, наряду с его оптическими и электрическими свойствами, определяет также характер их изменения при последующем высоко-температурном формировании приборной структуры в целом.

Таким образом исследование влияния температуры подложки на оптические и электрические свойства слоев ITO,

полученных методом магнетронного распыления является актуальной задачей при создании высокоэффективных пленочных фотоэлектрических преобразователей.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Тонкие поликристаллические пленки ITO осаждались на подложки из оптического стекла К8 методом неактивного магнетронного распыления на постоянном токе при мощности разряда 100 Вт. Распыляемые мишени представляли собой спрессованную мелкодисперсную механическую смесь 95% In₂O₃ и 5% SnO₂ полупроводниковой чистоты.

Величина удельного электросопротивления ρ исследуемых слоев определялась четырехзондовым методом с линейным расположением контактов. Концентрация n и подвижность μ основных носителей заряда рассчитывалась на основании измерений э.д.с. Холла [3]. Коэффициент пропускания пленок ITO T измерялся двухканальным методом с помощью спектрофотометра в диапазоне длин волн 400-850 нм.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поликристаллические пленки ITO толщиной $t=0.60-0.67$ мкм были получены при варьировании температуры подложки T_s от 200 °С до 500 °С. Результаты

исследований оптических и электрических свойств ИТО в зависимости от температуры подложки при осаждении пленок представлены в таблице 1.

Табл. 1. Электрические свойства пленок ИТО
Tab. 1. Electrical properties of ITO films

| Ts, °C | t, мкм | T, % | ρ , Ом*см *10 ⁻⁴ | n, см ⁻³ *10 ²⁰ | μ , см ² /В*с |
|--------|--------|------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 200 | 0.65 | 91 | 6.4 | 3.9 | 25 |
| 250 | 0.66 | 90 | 3.2 | 5.2 | 37 |
| 300 | 0.61 | 88 | 2.1 | 6.9 | 43 |
| 350 | 0.60 | 87 | 2.0 | 8.3 | 38 |
| 400 | 0.67 | 86 | 1.9 | 9.1 | 36 |
| 450 | 0.63 | 84 | 2.4 | 8.6 | 30 |
| 500 | 0.61 | 83 | 2.9 | 8.1 | 27 |

Анализ полученных результатов свидетельствует о том что, с ростом температуры подложки от 200°C до 400°C происходит монотонное уменьшение удельного электросопротивления с $6.4 \cdot 10^{-3}$ Ом*см до $1.9 \cdot 10^{-4}$ Ом*см. Результаты холловских измерений концентрации и подвижности основных носителей заряда свидетельствуют о том, что наблюдаемое уменьшение ρ обусловлено, в основном, увеличением n с $3.9 \cdot 10^{20}$ см³ до $9.1 \cdot 10^{20}$ см³. При этом μ возрастает от 25 см²/В*с при Ts=200°C до 43 см²/В*с при Ts=300°C, а затем начинает уменьшаться до 36 см²/В*с при Ts=400°C.

Дальнейшее увеличение температуры подложки с 400°C до 500°C приводит к увеличению величины удельного электросопротивления с $1.9 \cdot 10^{-4}$ Ом*см до $2.9 \cdot 10^{-4}$ Ом*см, что связано с одновременным уменьшением концентрации и подвижности основных носителей заряда.

Во всем исследуемом интервале изменений температуры подложки средняя величина прозрачности в видимом диапазоне монотонно уменьшается с 91% при Ts=200°C до 83% при Ts=500°C.

Все наблюдаемые при увеличении Ts изменения оптических и электрических свойств исследуемых пленок могут быть объяснены на основе существующих

представлений о влиянии структуры поликристаллических слоев ИТО на их оптоэлектрические характеристики. Известно [4], что в пленках ИТО не все атомы Sn находятся в электрически активном состоянии, замещая атомы In в кристаллической решетке соединения In₂O₃. Часть атомов олова находятся в электрически не активном состоянии занимая междоузлья и границы зерен поликристаллической пленки. Согласно литературным данным [5], увеличение температуры подложки при получении пленок ИТО приводит к увеличению размеров зерен. Поэтому, очевидно, что рост температуры подложки от 200°C до 400°C при получении исследуемых пленок ИТО также может приводить к увеличению размеров зерен и, следовательно, к уменьшению количества атомов олова на границах зерен в электрически неактивном состоянии. Этот эффект, в конечном итоге, способен вызывать увеличение концентрации основных носителей заряда, что и наблюдалось экспериментально в исследуемых слоях ИТО.

Наряду с увеличением n и ростом размеров зерен приводит к уменьшению рассеивания носителей заряда на зернограницной поверхности, что вызывает рост подвижности. Экспериментально в пленках ИТО с ростом температуры подложки наблюдался рост подвижности. Однако подвижность возрастала с ростом температуры подложки только до Ts=300°C. С нашей точки зрения, снижение подвижности при дальнейшем увеличении температуры подложки от 300°C до 400°C обусловлено ростом рассеивания на свободных носителях заряда за счет увеличения их концентрации с ростом Ts. Увеличением поглощения света свободными носителями заряда в пленках ИТО при увеличении температуры подложки до 400°C может быть объяснено наблюдаемое при этом монотонное уменьшение прозрачности слоев в видимом диапазоне.

Особый интерес вызывают электрические свойства пленок полученных

при T_s свыше 400°C . Уменьшение концентрации и подвижности основных носителей заряда при увеличении температуры подложки в этом температурном интервале можно связать с дроблением зерен в пленках полученных при таких высоких температурах подложки из-за диффузии неконтролируемой примеси из стеклянной пластины в растущий поликристаллический слой ИТО.

Для нахождения оптимальных условий получения прозрачных и проводящих пленок ИТО оценивалось изменение фактора качества Φ_{is} [5] во всем исследуемом температурном интервале:

$$\Phi_{is} = T^{10} \cdot t / \rho$$

Исследования показали, что максимальное значение фактора качества $8.2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1}$ наблюдается при температуре подложки $T_s = 300^\circ\text{C}$.

4. ВЫВОДЫ

Методом магнетронного распыления получены пленки ИТО приборного качества. При температуре подложки 300°C наблюдается оптимальное сочетание оптических и электрофизических характеристик исследуемых слоев ИТО: удельное электро-сопротивление пленок толщиной 0.61 мкм составляет $2.1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при средней прозрачности в видимом диапазоне 88% , что определяет критерий качества на уровне $8.2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ Ом}^{-1}$.

Было установлено, что температура подложки при формировании методом

нерактивного магнетронного распыления поликристаллических пленок ИТО определяет соотношение между количеством атомов олова находящихся на зернограничной поверхности в электрически неактивном состоянии и количеством атомов олова в объеме зерен поликристаллической пленки ИТО в электрически активном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. М.: Мир, 1986.
2. Coutts T.J., Wu X., Sheldon P., Rose D.H. Development High-Performance Transparent Conducting Oxides and their Impaction on the Performance CdS/CdTe Solar Cells. // 2nd Word Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July, Vienna, Austria. 1998. P. 720-724.
3. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов М.: Высш. шк., 1987. С.239.
4. Marcovitch O., Klein Z., Lubezky I. Transparent conductive indium oxide film deposited on low temperature substrates by activated reactive evaporation // Applied Optics. 1989. Vol.28(14). P.2792-2795.
5. Balasubramanian N., Subrahmanyam A. Electrical and optical properties of reactively evaporated indium tin oxide (ITO) films - dependence on substrate temperature and tin concentration // J. Phys. D: Appl. Phys. 1989. Vol. 22. P.206-209.

Influence of substrate temperature on the optical and electrical properties magnetron sputtering ITO films

G.S. Khrypunov, G.V. Yurchenko
(Kharkov State Polytechnic University, Kharkov)

Abstract

Electrical and optical properties of ITO films obtained at substrate temperature from 200°C to 500°C by magnetron sputtering of target $95\% \text{ In}_2\text{O}_3 - 5\% \text{ SnO}_2$ were studied. It was shown that the ITO film obtained at the substrate temperature 300°C have optimum combination of the optical and electrical characteristics: resistivity $2.1 \cdot 10^{-4} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$, transmittance in visible spectral range about 88% at the thickness film $0.61 \text{ } \mu\text{m}$, factor of quality reaches $8.2 \cdot 10^{-2} \text{ } \Omega^{-1}$.