

## ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.315.592

DOI: 10.17223/00213411/63/2/85

А.И. НИКИФОРОВ<sup>1,2</sup>, В.А. ТИМОФЕЕВ<sup>1</sup>, В.И. МАШАНОВ<sup>1</sup>, И.А. АЗАРОВ<sup>1,4</sup>, И.Д. ЛОШКАРЕВ<sup>1</sup>,  
И.В. КОРОЛЬКОВ<sup>3,4</sup>, Т.А. ГАВРИЛОВА<sup>1</sup>, М.Ю. ЕСИН<sup>1</sup>

МОРФОЛОГИЯ, СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК  $\text{SnO}(x)$  \*

Представлены морфологические, структурные и оптические свойства наноструктурированных пленок  $\text{SnO}(x)$ , полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии осаждением олова в потоке кислорода на окисленной подложке кремния в зависимости от температуры отжига синтезированной структуры. Установлено влияние температуры отжига на структурное и фазовое состояние пленок. Орторомбическая фаза  $\text{SnO}_2$  наблюдалась после отжига на воздухе при 500 °С. Увеличение температуры отжига до 800 °С приводит к появлению небольшой доли тетрагональной фазы  $\text{SnO}_2$ . Показано влияние кристаллической структуры на оптические свойства пленок оксидов олова. Методом эллипсометрии обнаружено резкое изменение оптических констант пленки вблизи температуры отжига 500 °С. Наблюдаемая широкая полоса поглощения в диапазоне 1.9–3.4 эВ, по-видимому, связана с незначительным (примерно 1 %) количеством неокисленных металлических кластеров Sn. Наблюдается широкая область фотолюминесценции в диапазоне 450–850 нм с максимумом при ~ 600 нм. Увеличение температуры отжига с 500 до 800 °С приводит к увеличению ее интенсивности почти в 6 раз.

**Ключевые слова:** оксид олова, эпитаксия, наноструктуры, рентгеновская дифракция, коэффициент поглощения.

## Введение

Оксиды олова относятся к классу материалов, которые сочетают высокую электрическую проводимость, оптическую прозрачность в видимом диапазоне и поглощение в ультрафиолетовой области, а также отражение инфракрасного света вследствие края плазменного отражения. Существует большое число прозрачных проводящих оксидов (ППО), наиболее известными являются оксиды на основе металлов, таких, как In, Sn, Zn, Ga и Cd [1, 2]. Основные требования к прозрачным проводящим пленкам – это низкое удельное сопротивление ( $< 0.001 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ), высокая оптическая прозрачность ( $> 80 \%$ ) и большая ширина запрещенной зоны ( $> 3.5 \text{ эВ}$ ). Наиболее широко используемым до настоящего времени является оксид индия ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ), легированный оловом. Индий, как основной элемент оксида, содержится в земной коре, но его содержание 0.00001 %, и он является побочным продуктом производства Zn и Pb, поэтому получение пленок  $\text{In}_2\text{O}_3$ , легированных оловом, требует существенных финансовых вложений. Среди всех ППО пленки оксида олова являются доступными, обладают привлекательными электронными, оптическими и электрохимическими свойствами [3], химической стабильностью к кислотам и основаниям, термически устойчивы и механически прочны [4]. По сравнению с оксидами олова, известные пленки оксида цинка ( $\text{ZnO}$ ) нестабильны к кислотам и щелочам. Пленки оксида олова имеют более высокую концентрацию носителей заряда и пропускание в видимом диапазоне [5].

В последнее время пленки оксида олова привлекли большое внимание ученых и технологов в связи с их возможными применениями в твердотельных газовых сенсорах, в электродах для электролюминесцентных дисплеев, в защитных покрытиях, в солнечных элементах, в прозрачных полевых транзисторах [6, 7]. Изучаются два основных оксида олова:  $\text{SnO}$  и  $\text{SnO}_2$ . Существование этих двух оксидов связано с двойственной валентностью Sn со степенями окисления +2 и +4. Как известно, оба этих оксида являются широкозонными полупроводниками со структурой рутила (тетрагональная решетка) для  $\text{SnO}_2$  и структурой PbO для  $\text{SnO}$  [6]. Диоксид олова является широкозонным полупроводником  $n$ -типа, имеет ширину запрещенной зоны от 3.6 до 4 эВ [8, 9] и прозрачность более 85 % [10]. Пленки  $\text{SnO}_2$  получены такими методами, как молекулярно-лучевая эпитаксия [11], импульсное лазерное осаждение [12], электронно-лучевое испарение [13], распыление [14], золь-гель-процесс [15]. В большинстве работ пленки  $\text{SnO}_2$  получают поликристаллическими. Монооксид олова является широкозонным полупроводником  $p$ -типа, но о его ширине запрещенной зоны данных немного, она лежит в области от 2.7 до 3.4 эВ [6]. Большое значение коэффициента поглощения говорит о преимущественно прямых оптических переходах в ультра-

\* Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 18-32-20064, 18-42-540018, 18-52-41006.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>