

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

УДК 621.315.592

DOI: 10.17223/00213411/64/8/115

В.А. ТИМОФЕЕВ¹, В.И. МАШАНОВ¹, А.И. НИКИФОРОВ^{1,2}, И.Д. ЛОШКАРЕВ¹, И.В. СКВОРЦОВ¹,
Д.В. ГУЛЯЕВ¹, И.В. КОРОЛЬКОВ³, Д.В. КОЛЯДА⁴, Д.Д. ФИРСОВ⁴, О.С. КОМКОВ⁴

**СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ОЛОВА И МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР
С ПСЕВДОМОРФНЫМИ СЛОЯМИ GeSiSn***

Впервые получен гибридный материал, который включает оксиды олова поверх структуры с множественными квантовыми ямами $\text{Ge}_{0.3}\text{Si}_{0.7-y}\text{Sn}_y/\text{Si}$. Оксиды олова, такие, как SnO и SnO_2 , формировались в результате фазовых переходов при окислении поликристаллических пленок олова (β -Sn). Продемонстрирована фотолюминесценция с максимумом интенсивности в области 2.34 эВ, что соответствует ширине запрещенной зоны SnO. Свечение в точке фотогенерации видится в зеленом цвете. Фотолюминесценция от SnO наблюдается после отжига в диапазоне температур 300–400 °С. Увеличение температуры отжига приводит к резкому гашению люминесценции, что связано с фазовым переходом SnO в SnO_2 . Изучен рост многослойных структур $\text{Ge}_{0.3}\text{Si}_{0.7-y}\text{Sn}_y/\text{Si}$ при содержании олова от 0 до 18 %. Установлено, что соединения GeSiSn являются термически стабильными в диапазоне температур отжига 300–550 °С. Помимо сигнала фотолюминесценции в видимой области от оксидов олова возникает сигнал фотолюминесценции в инфракрасном диапазоне около 3 мкм, который формируется от структуры GeSiSn/Si.

Ключевые слова: молекулярно-лучевая эпитаксия, гибридный материал, оксид олова, твердый раствор, кривая дифракционного отражения, множественная квантовая яма, фотолюминесценция.

Введение

Оксиды олова и соединения GeSiSn, объединенные в одной структуре, представляют перспективу для использования в системах мультиспектральной визуализации [1, 2], поскольку они демонстрируют сигнал фотолюминесценции в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн [3–8]. Изменяя содержание олова в слое твердого раствора GeSiSn, можно регулировать ширину запрещенной зоны материала и варьировать оптические свойства от ближнего до среднего инфракрасного диапазона [9–11].

Оксиды олова относят к классу прозрачных проводящих оксидов. Однако их свойства очень сильно зависят от стехиометрии, легирования, метода получения. Изучают два основных оксида олова: SnO и SnO_2 , соответствующие валентности Sn +2 и +4. SnO является оксидом с *p*-типом проводимости. Это связано с вакансиями Sn и междоузлиями O [12, 13]. Ширина запрещенной зоны с прямыми переходами меняется в широких пределах от 2.5 до 3.8 эВ [14, 15]. Двумерный полупроводниковый слой *p*-SnO продемонстрировал величину ширины запрещенной зоны около 4.2 эВ [16]. Совершенно другими свойствами обладает диоксид олова SnO_2 . В своей стехиометрической форме он является хорошим диэлектриком. Однако нарушение стехиометрии, например, наличие вакансии кислорода, делает его проводящим материалом с *n*-типом проводимости [17]. SnO_2 имеет ширину запрещенной зоны в диапазоне 3.6–3.8 эВ. Kilic и Zunger показали, что энергия формирования вакансий кислорода и междоузлий олова в SnO_2 очень низкая, поэтому эти дефекты легко образуются, увеличивая проводимость нестехиометрического SnO_2 [18]. Дальнейшее повышение проводимости достигается легирующими примесями [19, 20].

Как можно видеть из значений ширины запрещенной зоны оксидов олова, они охватывают ультрафиолетовую и видимую области электромагнитного спектра. Для того, чтобы продвинуться в инфракрасную область, мы предлагаем использовать материалы на основе элементов IV группы таблицы Д.И. Менделеева (Ge, Si и Sn). Добавление Sn в матрицу GeSi позволяет проводить зонный инжиниринг. Увеличение содержания олова уменьшает ширину запрещенной зоны и, таким образом, происходит рост рабочей длины волны от ближнего до среднего инфракрасного диапазона. В работе [6] исследованы оптические свойства многослойных гетероструктур GeSn/Ge с деформациями сжатия в слоях GeSn и создан макет ИК-фотоприемника, показывающий увеличение чувствительности во всем диапазоне от 0.75 до 2.4 мкм в сравнении с фотоприемником на основе

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-10092).

Уважаемые читатели!

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

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