

06.3

## Исследование условий роста и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных структур $\text{Si}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$

© Б. Сапаев, А.С. Саидов

Физико-технический институт НПО „Физика–Солнце“ АН РУз, Ташкент  
E-mail: amin@physic.uzsci.net

В окончательной редакции 28 января 2004 г.

Твердые растворы  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  ( $0.08 \leq x \leq 0.92$ ) выращены методом жидкостной эпитаксии из ограниченного оловянного раствора-расплава. Исследованы морфологические, фотоэлектрические и вольт-емкостные свойства полученных эпитаксиальных твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ . Показано, что распределение химических компонентов по толщине слоев является однородным. Установлено, что спектральная чувствительность находится в интервале энергии фотонов от 1.05 до 3.0 eV, что представляет большой интерес в качестве материалов для фото- и оптоэлектроники.

В последние годы синтезировано большое число новых химических соединений и твердых растворов со свойствами полупроводников. Наиболее важными и перспективными материалами с полупроводниковыми свойствами, особенно для фото- и оптоэлектроники, являются твердые растворы на основе элементарных полупроводников кремния и соединений ZnS.

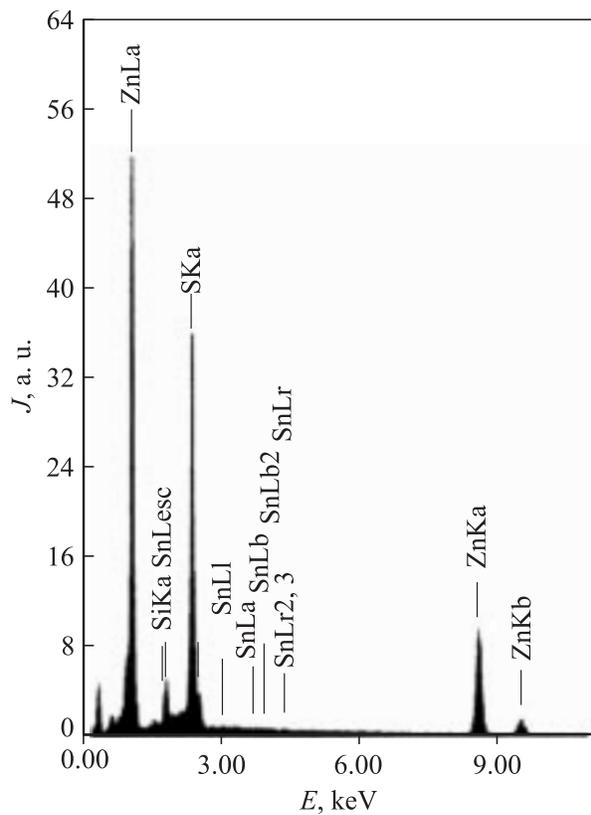
В первую очередь, это связано с тем, что ширина запрещенной зоны данного твердого раствора варьируется в широких пределах от 1.12 до 3.57 eV. Спектральный диапазон fotocувствительности твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  лежит в интервале от инфракрасного до ультрафиолетового спектра излучения. Это позволяет варьировать его электрическими, фотоэлектрическими и оптическими свойствами. В работе [1] сообщается, что авторы впервые синтезировали пленки ZnS:Cu с яркой фотолюминесценцией синего, зеленого и желтого цветов на стеклянных и керамических подложках путем химического безвакуумного метода. Показано, что излучательные свойства пленок сильно зависят от концентрации меди и условий формирования пленок —

температуры и структуры подложек. Авторы работы [2] исследовали электролюминесцентные свойства пленок ZnS:Cu, где они показали, что исследуемые пленки ZnS:Cu перспективны для использования в электролюминесцентных дисплеях.

Поэтому выращивание эпитаксиальных пленок ZnS на дешевых кремниевых подложках и исследование их основных свойств представляют интерес.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по выращиванию и исследованию электрических свойств эпитаксиальных слоев твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  на подложках кремния КДБ-1.0  $\div$  10  $\Omega \cdot \text{cm}$  (111) из ограниченного объема оловянного раствора-расплава методом жидкостной эпитаксии. Так как эпитаксиальные пленки получались *n*-типа проводимости, с целью создания гетеро-*p-n*-перехода нами была специально выбрана подложка *p*-типа. Технология выращивания эпитаксиальных слоев из ограниченного объема раствора-расплава приведена в работе [3]. Нами впервые методом жидкостной эпитаксии были получены эпитаксиальные твердые растворы  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ . Подложками служили шайбы, вырезанные из монокристаллического стержня, выращенные методом Чохральского, диаметр и удельное сопротивление которых  $d = 20 \text{ mm}$  и  $\rho \approx 1.0 \div 10 \Omega \cdot \text{cm}$  соответственно. При этом толщина шайбы составляла  $d \approx 350 \div 400 \mu\text{m}$ . Состав раствора-расплава выбран на основании результатов предварительных исследований Si-ZnS-растворителя и данных [4,5]. Рост пленок твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  осуществлялся из ограниченного оловянного объема раствора-расплава в атмосфере очищенного палладием водорода ( $\text{H}_2$ ). Исследования зависимости толщины и структуры пленок от скорости и начальной температуры, от зазора между подложками дали возможность выбрать оптимальный вариант получения эпитаксиальных слоев. Следует отметить, что при скорости охлаждения  $0.7 \div 1.0^\circ\text{C}/\text{min}$  зазор между подложками равен  $1 \div 1.5 \text{ mm}$ . При таких условиях получают зеркально-гладкие эпитаксиальные слои.

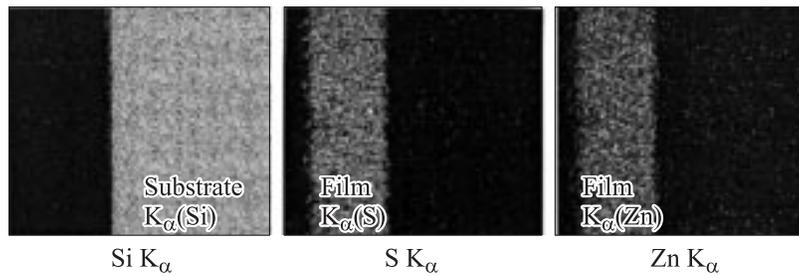
На рентгеновском микроанализаторе „Jeol“ JSM 5910 LV-Japan были проведены исследования химического состава по поверхности (рис. 1) и по сколу выращенных эпитаксиальных слоев  $(\text{Si}_2)_{0.08}(\text{ZnS})_{0.92}$  (рис. 2). Анализ растровых картин поверхности слоев показал, что в полученных эпитаксиальных слоях твердых растворов макроскопические дефекты и металлические включения отсутствуют, а распределения компонентов



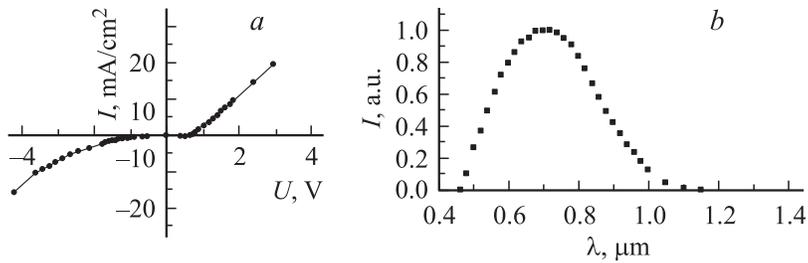
**Рис. 1.** Зависимость интенсивности излучений химических элементов по поверхности эпитаксиальных слоев  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  от энергий, снятая на рентгеновском микроанализаторе „Jeol“ JSM 5910 LV-Japan.

по поверхности эпитаксиального слоя и в объеме твердого раствора однородные.

Исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) и спектральные характеристики твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ . Результаты приведены на рис. 3. Анализ рис. 3, *a* показывает, что крутизна наклона на ВАХ после пробоя  $p$ - $n$ -перехода обусловлена большим сопротивлением контактов. Из спектральной характеристики (рис. 3, *b*)



**Рис. 2.** Растровые картины эпитаксиальных слоев твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ , снятых на рентгеновском микроанализаторе „Jeol“ JSM 5910 LV-Japan.



**Рис. 3.** Темновая вольт-амперная характеристика (a) и спектральное распределение фоточувствительности (b) гетероструктур  $p\text{Si}-n(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$ .

видно, что коротковолновая граница фоточувствительности начинается с длины волны  $0.45 \mu\text{m}$  вместо ожидаемого значения  $0.4 \mu\text{m}$ , что может быть связано с большой толщиной пленки. Длинноволновая граница простирается до  $1.1 \mu\text{m}$ , что свидетельствует о преобладании Si в составе пленки твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  у гетерограницы.

Таким образом, выращены твердые растворы  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  ( $0.08 \leq x \leq 0.92$ ) методом жидкостной эпитаксии из ограниченного оловянного раствора-расплава. Фоточувствительность полученного твердого раствора находится в интервале энергии фотонов от 1.05 до 3.0 eV, что представляет большой интерес в качестве материалов для фото- и оптоэлектроники.

## Список литературы

- [1] Свечников С.В., Завьялова Л.В., Рощина Н.Н. и др. // ФТП. 2000. Т. 24. В. 10. С. 1178–1182.
- [2] Хомченко В.С., Завьялова Л.В., Рощина Н.Н. и др. // ФТП. 2002. Т. 72. В. 8. С. 44–48.
- [3] Сапаев Б., Саидов А.С., Давлатов У.Т. // Вестник ГулГУ. 2001. № 1. С. 50–54.
- [4] Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М.: Сов. радио, 1975. С. 328.
- [5] Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. Т. II. М.: Metallurgizdat, 1962. С. 874.