

УДК 621.315.592

## Морфология поверхности, электрофизические и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок узкозонных халькогенидов $A^{IV}B^{VI}$

И.Р. Нуриев

*Представлены результаты исследования морфологии поверхности эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,07$ ), полученные различными методами термического напыления (метод конденсации молекулярных пучков и горячей стенки), в корреляции с электрофизическими свойствами и проведено сравнение с другими  $A^{IV}B^{VI}$ . Установлено, что образование черных скоплений на поверхности эпитаксиальных пленок характерно для халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$  и морфология поверхности сильно влияет на электрофизические свойства.*

PACS: 68.55.— а

*Ключевые слова:* эпитаксиальные пленки, термическое напыления, халькогениды.

### Введение

Известно, что современные электронные приборы создаются на поверхности кристаллов, при этом приборы с высокими параметрами изготавливаются на однородно-чистых, зеркально гладких поверхностях [1]. Для этой цели широко используются структурно совершенные эпитаксиальные пленки полупроводников. Все структурные изменения, происходящие в тонких приповерхностных слоях, отражаются на характеристиках приборов, изготовленных на их основе. По этой причине современная электронная техника требует получения совершенных эпитаксиальных пленок с заданными свойствами, свободных от различного рода нежелательных поверхностных состояний. Поэтому исследование морфологии поверхности эпитаксиальных пленок в корреляции с электрофизическими и фотоэлектрическими свойствами представляет научный и практический интерес.

Полупроводниковые соединения группы  $A^{IV}B^{VI}$  и твердые растворы на их основе, в которых можно плавно регулировать ширину запрещенной зоны путем изменения состава, нашли широкое применение при изготовлении инжекционных лазеров и фотодиодов ИК-излучения [2]. Разработан ряд методов для получения структурно совершенных однородных эпитаксиальных пленок с заданными толщиной, составом и концентрацией носителей заряда [3].

Целью данной работы являлось исследование морфологии поверхности эпитаксиальных пленок

$Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,07$ ), полученных различными методами термического напыления (метод конденсации молекулярных пучков и горячей стенки), в корреляции с электрофизическими свойствами, а также сравнение этих пленок с другими структурами типа  $A^{IV}B^{VI}$ .

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

В данной работе рассматриваются особенности морфологии поверхности эпитаксиальных пленок узкозонных халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$ , которые широко применяются в ИК-технике и обладают большой перспективой. Анализируется морфология поверхности эпитаксиальных пленок халькогенидов свинца и твердых растворов на их основе, выращенных на различных подложках, методами термического напыления и обобщены полученные результаты. Пленки толщиной 0,05–1 мкм, в основном, выращены на свежесколотых гранях (111)  $BaF_2$  методом конденсации молекулярных пучков (КМП) и “горячей стенки” (ГС) в вакууме  $10^{-4}$  и  $10^{-7}$  Па, соответственно. Большой перспективой обладают эпитаксиальные пленки, выращенные в сверхвысоком вакууме методом ГС. Характерной особенностью метода ГС является то, что рост эпитаксиальных слоев происходит в условиях, максимально близких к термодинамическому равновесию при минимальных потерях материала. ГС служит для направления молекул от источника к подложке. Метод ГС позволяет получать эпитаксиальные пленки с совершенной структурой и высокими значениями электрофизических параметров.

Пленки получены на сверхвысоковакуумной ( $\leq 10^{-7}$  Па) установке с безмасляной откачкой, разработанной и внедренной в институте Фотоэлектроники (ныне Физики) НАН Азербайджана

Нуриев Идаят Рагим оглы, руковод. лаборатории.  
Институт физики им. академика Г.М.Абдуллаева  
НАН Азербайджана.

Азербайджан, AZ1143, Баку, проспект Г. Джавида, 33.  
Тел.: (99412) 432–47–04. E-mail afin@aport2000.ru

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2013 г.

© Нуриев И.Р., 2013



Рис. 1. Электронограмма эпитаксиальной пленки  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,07$ )

[4]. В качестве откачной системы использовался сверхвысоковакуумный агрегат СВА-0.25. Ампула, используемая в данной установке, содержит два источника, а именно, один для халькогенидов свинца и их твердых растворов (основного), а другой — для халькогенов S, Se, Te (компенсирующего).

Выбор в качестве подложки монокристаллов  $BaF_2$  продиктован их оптической прозрачностью в спектральном диапазоне 3–12 мкм, а также их хорошей механической прочностью и химической инертностью [5].

Для сравнения и обобщения результатов по исследованию морфологии поверхности халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$  на свежесколотых гранях (111)  $BaF_2$  были выращены эпитаксиальные пленки  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,07$ ). Определены оптимальные условия получения пленок по вышеописанным двум методам. В результате, получены структурно совершенные эпитаксиальные пленки, растущие по плоскости (111). Соответствующая электронограмма представлена на рис. 1.

Было проведено исследование морфологии поверхности этих пленок на малогабаритном рас-

тровом электронном микроскопе 09ИОЭ-100–005. Полученные электронно-микроскопические снимки представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, а, б, на поверхности исследованных пленок наблюдаются черные скопления, которые являются продуктами окисления, образующиеся вследствие частичного разложения испаряемого материала в процессе роста. Их количество и размеры отличаются в зависимости от метода получения, что характерно и для других халькогенидов свинца.

С другой стороны, количество и размер скоплений на поверхности пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x=0.07$ ), полученных методом КМП, больше, чем методом ГС. Этот факт свидетельствует о том, что морфология поверхности пленок сильно зависит от степени вакуума, а действительно наблюдающиеся черные скопления являются продуктами окисления. Пленки с черными скоплениями на поверхности, имеют малые значения электрофизических параметров ( $\mu_{77K} = (1,5–2,0) \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В·с).

С применением дополнительного компенсирующего источника паров халькогена, в процессе роста удалось получить структурно совершенные пленки с чистой, гладкой поверхностью свободных от черных скоплений (рис. 2, с), что имеет место и в случае других халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$ . Подвижность носителей заряда пленок сильно зависит от морфологии поверхности. Пленки с чистой поверхностью имеют высокие значения подвижности  $\mu_{77K} = (2.5–3) \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В·с. Показано, что эти пленки являются фоточувствительными при 77 К и имеют оптимальные значения электрофизических и фотоэлектрических параметров, необходимых для создания на их основе высокочувствительных оптоэлектронных приборов, применяемых в различных областях ИК-техники [6–10].

Из [11–16] известно, что в едином технологическом цикле без нарушения вакуума созданы *p–n*-гомо- и гетеропереходы на основе эпитаксиальных пленок халькогенидов свинца, которые

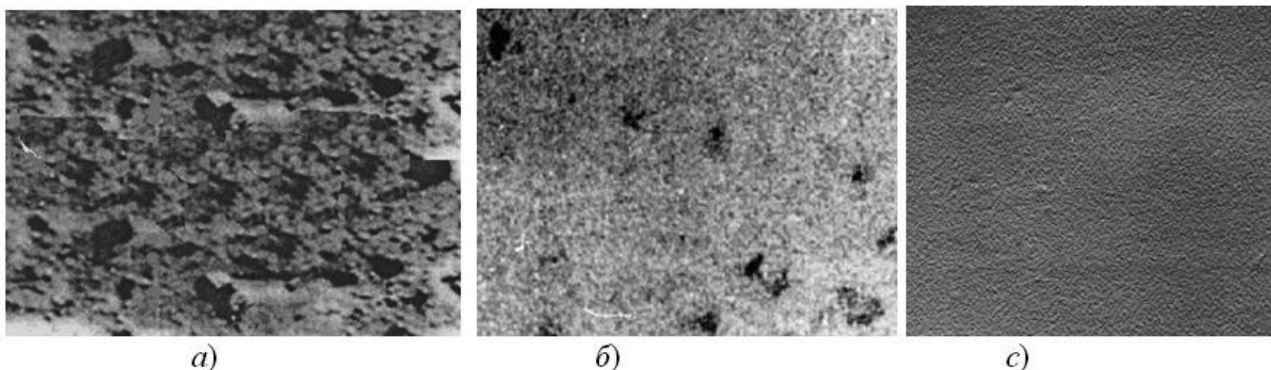


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки ( $\times 50000$ ) поверхности эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x = 0,07$ ) полученные: а) методом КМП без применения компенсирующего источника Se, б) методом ГС без применения компенсирующего источника Se, в) с применением компенсирующего источника Se.

оказались фоточувствительными при температуре жидкого азоте 77 К. Установлено, что в твердых растворах  $Pb_{1-x}Sn_x$  (S, Se, Te) с увеличением  $x$  максимумы фоточувствительности смешаются в сторону длинных волн, а в  $Pb_{1-x}Mn_x$  (Se, Te), наоборот, в сторону коротких волн. Этот факт объясняется, соответственно, уменьшением и увеличением ширины запрещенной зоны исследуемых пленок в зависимости от состава. Проведением сравнения и обобщения полученных результатов можно считать установленным, что образование черных скоплений на поверхности эпитаксиальных пленок, выращенных методами термического напыления, характерно для халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$ , а морфология поверхности сильно влияет на электрофизические свойства.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что образование черных скоплений на поверхности эпитаксиальных пленок характерно для халькогенидов  $A^{IV}B^{VI}$ , а морфология их поверхности сильно влияет на электрофизические свойства.

### Литература

1. Афанасьев А.М., Александров П.А., Имамов Р.М. Рентгеновская структурная диагностика в исследовании приповерхностных слоев монокристаллов. — М.: Наука, 1986.

2. Сизов Ф.Ф. // Зарубежная электронная техника. 1977. С/3
3. Матвеев А.В., Медведев Ю.В., Берченко Н.Н. // Зарубежная электронная техника. 1982. С. 54.
4. Нуриев И.Р., Набиев Р.Н., Ахмедов Э.А. // Электронная техника. 1991. Вып.3. Сер. 7. С. 49.
5. Воронкова Е.М., Гречушников Б.Н., Дистлер Г.И. и др. Оптические материалы для инфракрасной техники — М.: Наука, 1965.
6. Салаев Э.Ю., Нуриев И.Р., Джалилова Х.Д., Фарраджев Н.В. // Прикладная Физика. 1999. № 3. С. 112.
7. Нуриев И.Р., Фарзалиев С.С., Фарраджев Н.В., Садыгов Р.М. // Прикладная физика. 2006. № 4. С. 106.
8. Нуриев И.Р., Гаджиев М.Б., Садыгов Р.М., Назаров А.М. // Прикладная Физика. 2007. № 2. С. 132.
9. Нуриев И.Р., Садыгов Р.М., Назаров А.М. // Кристаллография. 2008. Т. 53. № 3. С. 543.
10. Нуриев И.Р. // Физика. 2011. Т. XVII. № 1. С. 81.
11. Семилетов С.А., Ракова Е.В., Заитов Ф.А., Сулейманов Н.А. // Микроэлектроника. 1984. Т. 13. № 3. С. 280.
12. Нуриев И.Р., Набиев Р.Н. // ДАН Азерб. ССР. 1987. Т. 43. № 2. С. 21.
13. Нуриев И.Р., Шарифова А.К. // Специальная электроника. Серия “Материалы”. 1988. № 2.
14. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Фарраджев Н.В. // Кристаллография. 2012. Т. 57. № 2. С. 345.
15. Семилетов С.А., Сулейманов Н.А., Ракова Е.В. и др. // Микроэлектроника. Т. 9. В. 5. 1979. С. 467.
16. Нуриев И.Р., Фарраджев Н.В., Назаров А.М., Гаджиев М.Б. // Прикладная Физика. 2012. № 1. С. 98.

## Surface morphology, electrophysical and photoelectric properties of epitaxial films of narrow-band $A^{IV}B^{VI}$ chalcogenides

I.R. Nuriyev

H.M. Abdullayev Institute of Physics of Azerbaijan NAS  
33 H. Javid av., Baku, AZ1143, Azerbaijan  
E-mail: afin@aport2000.ru

*The results of study of surface morphology of epitaxial films  $Pb_{1-x}Sn_xSe$  ( $x=0.07$ ), obtained by different thermal spraying methods (by molecular beams' condensation and hot wall methods), in correlation with electrophysical properties are given and other chalcogenides  $A^{IV}B^{VI}$  are compared. It is established that the formation of black clusters on the surface of epitaxial films is characteristic for chalcogenides  $A^{IV}B^{VI}$  and the surface morphology strongly influences the electrophysical properties.*

PACS: 68.55.— a

Keywords: epitaxial films, thermal spraying, chalcogenides.

Bibliography — 16 references

Received September 20, 2013