

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 539.23

**ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ СЕЛЕНИДА ЦИНКА НА ПОРИСТОМ КРЕМНИИ**

В.И. ЛЕВЧЕНКО, Л.И. ПОСТНОВА, Е.Л. ТРУХАНОВА, В.П. БОНДАРЕНКО\*

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», П. Бровка, 19, Минск, 220072, Беларусь

*\*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Эпитаксиальные пленки ZnSe выращены путем термического испарения соединения ZnSe на подложках Si ориентации (111) и (100) с буферным пористым слоем. Кристаллическая структура осаждаемых пленок контролировалась методом рентгеновской дифрактометрии. Морфология пленок изучалась методом растровой электронной микроскопии высокого разрешения. Установлено, что использование пористого буферного слоя позволяет повысить качество пленок по сравнению с пленками, осажденными на монокристаллическом кремнии.

*Ключевые слова:* эпитаксиальные пленки, селенид цинка, пористый кремний.

**Введение**

В настоящее время эпитаксиальные пленки селенида цинка находят применение в качестве материала для люминесцентных приборов, светоизлучающих диодов и оптических волноводов. Обычно их выращивают на подложках с небольшим рассогласованием параметров решеток подложки и пленки, преимущественно на германии (~0,16 %) и арсениде галлия (~0,23 %). Большой интерес представляет выращивание ZnSe на кремнии [1, 2], что открывает возможность реализации интегрированных оптоэлектронных и коммуникационных устройств. Однако прямая эпитаксия селенида цинка на кремнии затруднена относительно большим рассогласованием параметров кристаллической решетки (4,3 %).

Проблема рассогласования параметров решеток пленки и подложки была частично решена в работе [3] за счет использования буферного слоя твердого раствора переменного состава  $Ge_xSi_{1-x}$ . Однако это технологически сложное и дорогое решение. Более эффективным и простым может стать применение в качестве буферного слоя пористого кремния, на котором удастся получать эпитаксиальные слои материалов с очень большим рассогласованием параметров решеток и коэффициентов термического расширения, например для PbS 9,4 % и 1000 %, соответственно [4]. При этом важно, что технология получения слоев пористого кремния хорошо отработана и совместима со стандартной КМОП технологией.

В настоящей работе показана возможность выращивания на кремнии с пористым буферным слоем эпитаксиальных пленок селенида цинка.

**Методика эксперимента**

Осаждение пленок ZnSe осуществлялось методом термического испарения из источника типа ячейки Кнудсена в вакууме  $7 \cdot 10^{-4}$  Па. В качестве исходного материала использовался предварительно синтезированный из высокочистых элементарных компонент

поликристаллический селенид цинка, синтез которого осуществлялся в вакуумированных до остаточного давления  $10^{-3}$  Па кварцевых ампулах. В качестве подложек использовались пластины монокристаллического кремния марки КЭС-0,01 ориентации (111) и (100), легированного сурьмой до концентрации  $4 \cdot 10^{18}$  ат/см<sup>3</sup>, со сформированным на их рабочей поверхности пористым слоем. Для сравнения использовались также подложки из монокристаллического кремния марки КЭС-0,01. Слой пористого кремния формировался электрохимическим анодированием монокристаллического кремния в растворе фтористоводородной кислоты в изопропиловом спирте или воде (соотношение 1:3) при плотности тока 50 мА/см<sup>2</sup>. Кремниевые подложки непосредственно перед вакуумированием установки подвергались травлению в смеси состава HF:H<sub>2</sub>O = 1:10. Пленки выращивались при температуре подложек в интервале 300–450 °С при постоянной температуре испарителя 960 °С. Кристаллическая структура осаждаемых пленок контролировалась методом рентгеновской дифрактометрии. Морфология пленок изучалась методом растровой электронной микроскопии высокого разрешения.

### Результаты и их обсуждение

Исследована зависимость скорости роста пленок от температуры подложек при постоянной температуре испарителя 960 °С. При повышении температуры с 300 °С до 450 °С наблюдается снижение скорости роста с 1,5 до 0,3 мкм/час, обусловленное десорбцией атомов цинка и молекул селена с поверхности подложки.

Как показали результаты рентгеновских исследований, с ростом температуры подложек до 400 °С (скорость роста пленок 0,5 мкм/час) структурное совершенство пленок улучшается. Дальнейший рост температуры до 450 °С приводит к снижению качества пленок.

На рис. 1 приведены рентгеновские дифрактограммы пленок селенида цинка, осажденных при 400 °С на пористый слой кремния ориентации (111) и (100), полученный с использованием раствора HF в изопропиловом спирте.

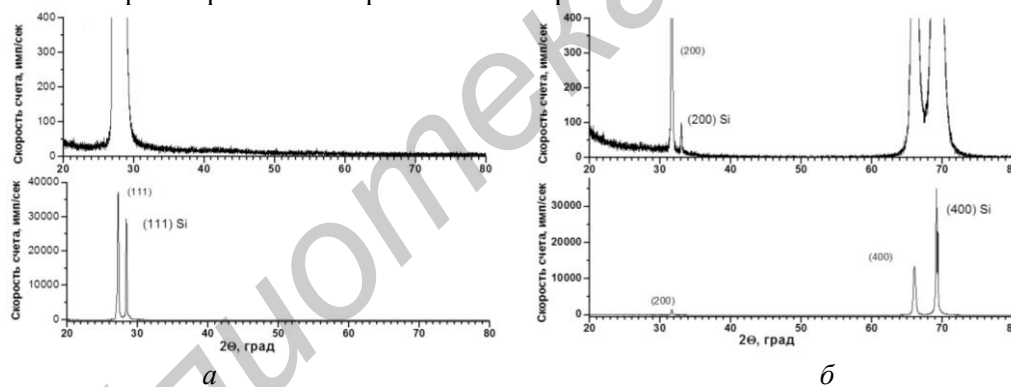


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы пленки ZnSe, осажденной на пористом слое кремния ориентации (111) (а) и (100) (б)

Соответствие кристаллографической ориентации пленки ориентации подложки, высокая интенсивность эпитаксиальных рефлексов, сопоставимая с интенсивностью рефлексов монокристаллов, и отсутствие неэпитаксиальных рефлексов свидетельствуют о том, что полученные слои являются эпитаксиальными. Ширина на полувысоте кривой качания эпитаксиальных рефлексов (111) и (100) составляет соответственно 0,5 град и 0,8 град.

В случае осаждения селенида цинка на подложку из монокристаллического кремния также наблюдается ярко выраженное ориентирующее воздействие подложки, однако на дифрактограммах пленок, выращенных даже в оптимальных условиях, наблюдаются следы неэпитаксиальных рефлексов, свидетельствующие о зарождении и росте зерен неэпитаксиальной природы. Пленки, осажденные на монокристаллический кремний, уступают по качеству пленкам на пористом слое кремния во всем диапазоне температур, при которых проводились исследования.

На дифрактограммах пленок, осажденных на пористый слой кремния ориентации (111), сформированный с применением водного раствора HF так же, как и в случае использования раствора HF в изопропиловом спирте, отсутствуют неэпитаксиальные рефлексы, однако

разориентация блоков несколько больше, о чем свидетельствует уширение кривой качания рефлекса (111). Преимуществом этих пленок является малая шероховатость их поверхности. Зависимость морфологии пленок ZnSe на пористом кремнии ориентации (111) от технологии формирования пористого слоя иллюстрирует рис. 2.

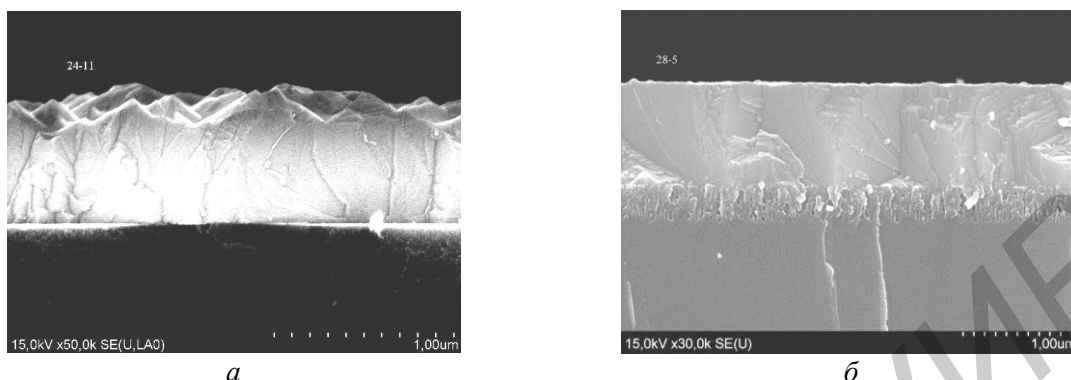


Рис. 2. Морфология скола пленки ZnSe, осажденной на пористый кремний ориентации (111), полученном электрохимическим травлением в растворе HF в изопропиловом спирте (а) и в растворе HF в воде (б)

Как видно из рис. 2, пленка ZnSe на пористом кремнии ориентации (111) имеет столбчатую структуру и состоит из блоков с малоугловой разориентацией, растущих наклонно к поверхности подложки. При этом все блоки выходят на поверхность перпендикулярно направлению их роста, образуя регулярную поверхностную шероховатую структуру.

### Заключение

Выращивание пленок ZnSe на подложках кремния ориентации (111) и (100) с буферным пористым слоем осуществлялось путем термического испарения соединения ZnSe. Исследование зависимости совершенства кристаллической структуры пленок от температуры подложек в интервале 300–450 °С при постоянной температуре испарителя 960 °С показало, что наиболее качественные пленки растут при 400 °С (скорость роста 0,5 мкм/час). При этом на дифрактограмме полностью отсутствуют неэпитаксиальные рефлексы. По структурному совершенству пленки, выращенные на пористом кремнии, превосходят пленки, осажденные на монокристаллический кремний.

## EPITAXIAL FILMS OF ZINC SELENIDE ON POROUS SILICON

V.I. LEVCHENKO, L.I. POSTNOVA, E.L. TRUKHANAVA, V.P. BONDARENKO

### Abstract

ZnSe epitaxial films are grown on (111)- and (100)-oriented Si substrates with a porous buffer layer by the thermal evaporation of ZnSe compound. The crystal structure of the deposited films was controlled by X-ray diffraction. The morphology of the films was studied by high-resolution scanning electron microscopy. It was demonstrated the porous buffer layer provides improving the quality of the films compared with films deposited on the monolithic silicon.

### Список литературы

1. Yokoyama M., Chen N.T., Ueng H.Y. // J. Cryst. Growth. 2000. № 212. P. 97–102.
2. Mino N., Kobayashi M., Konagy M. et al. // J. Appl. Phys. 1985. № 58. P. 793–798.
3. Yang T.-H., Yang C.S., Luo G. et al. // J. Appl. Phys. 2004. № 43. P. L811–816.
4. Levchenko V.I., Postnova L.I., Bondarenko V.P. et al. // Thin Solid Films. 1999. № 348. P. 141–145.