

05;06;12

## Управляемое выращивание квазибикристаллических структур оксида цинка

© Б.М. Атаев, И.К. Камиллов, А.М. Багамадова, В.В. Мамедов,  
С.Ш. Махмудов, А.К. Омаев, Ш.О. Шахшаев

Институт физики Дагестанского НЦ РАН, Махачкала  
E-mail: caucasus@datacom.ru

Поступило в Редакцию 25 апреля 2000 г.

Сообщаются первые результаты по получению квазибикристаллических структур — межблочных границ эпитаксиальных слоев оксида цинка на сапфире в заданном направлении — для последующего формирования субмикронных устройств электроники. Показано, что использование техники буферных слоев позволяет на одной подложке ( $10\bar{1}2$ )  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  получать высокоориентированные слои  $(11\bar{2}0)\text{ZnO}$  и  $(0001)\text{ZnO}$  с четкой границей между ними. Изучены морфология и структурные особенности этих слоев.

Известно, что бикристаллические подложки широко используются для формирования межзеренных границ эпитаксиальных слоев (ЭС) в субмикронных устройствах электроники: Y–Ba–Cu–O джозефсоновские ВТСП переходы и их цепочки [1,2], устройства с колоссальным магнетосопротивлением на базе замещенных манганитов редкоземельных металлов [3] и т.д., обладающих, как правило, большей (от нескольких раз до нескольких порядков) эффективностью по сравнению с такими же устройствами, изготовленными по обычной планарной технологии. Эти устройства предполагают наличие четко выраженного структурного перехода в определенном направлении и связанного с этим поиска специальных бикристаллов и подложек.

В данной работе мы предлагаем способ создания квазибикристаллической структуры — формирование в одном заранее выбранном направлении подложки межзеренных границ ЭС. Такая граница или их ряд могут быть получены на любом участке подложки в зависимости от выполняемой задачи. В качестве примера подходящей подложки мы выбрали широко используемый в технике  $\alpha$ -сапфир, а в качестве

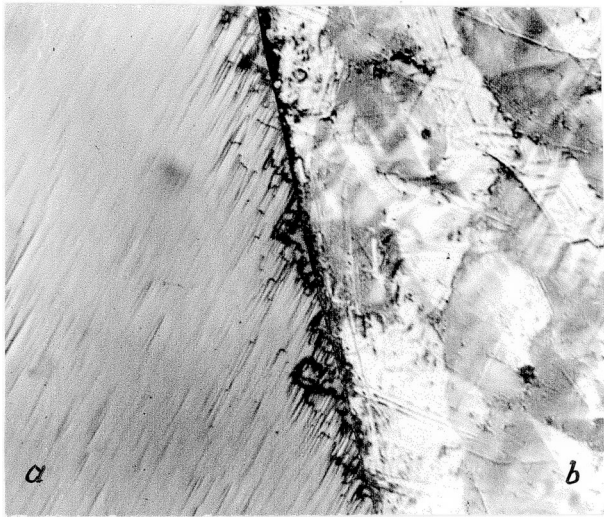
объекта формирования межзеренных границ — оксид цинка. Очевидно, что выбор и подложек, и формирующего объекта достаточно произволен и, в частности, может быть использован с таким же успехом любой высокотемпературный оксид. В то же время оксид цинка, по нашему мнению, представляет и дополнительный интерес, обусловленный тем, что нелинейная проводимость межзеренных границ специальной керамики на базе ZnO с успехом используется для создания варисторов (см., например, [4]). Предлагаемый способ, нам представляется, может быть использован как один из вариантов получения варисторных устройств в планарном исполнении.

В экспериментах использовались подложки  $(10\bar{1}2)Al_2O_3$  размером  $2 \times 2$  см. Предварительно часть подложки закрывалась экраном, а на другую методом магнетронного распыления (ММР) наносилась пленка оксида цинка толщиной 20–100 нм. ММР формирует (по крайней мере в диапазоне температур подложек до 600 К) слои базисной ориентации вне зависимости от материала и ориентации подложек (см. также [4,5]). Затем подложка помещалась в проточный реактор пониженного давления и методом химических транспортных реакций (ХТР) в атмосфере водорода проводилось дальнейшее выращивание слоев оксида цинка (подробнее см. [6]) на всей поверхности подложки до толщин 3–5  $\mu$ m.

Исследование морфологии и кристаллической структуры показало, что на части подложки  $(10\bar{1}2)\alpha-Al_2O_3$  с предварительно нанесенной пленкой ММР растут ориентированные слои (0001) ZnO, в то время как на чистой поверхности сапфира формируются ЭС (11 $\bar{2}$ 0) ZnO (см., например, [5,6]).

На рис. 1 приведена морфология обоих участков поверхности слоев оксида цинка, полученная при увеличении  $\times 350$  с помощью микроскопа МИИ-4: *a* — на чистой поверхности сапфира, *b* — с использованием промежуточного ММР-слоя. Можно видеть характерные для указанных ориентаций фигуры роста: (11 $\bar{2}$ 0) ZnO — очень отчетливо и (0001) ZnO — менее отчетливо, соответственно *a* и *b*. Следует заметить, что хорошо различимая тень на границе двух ориентаций связана с разной толщиной ЭС, обусловленной существенно большей скоростью роста слоев базисной ориентации по сравнению со слоями (11 $\bar{2}$ 0) ZnO.

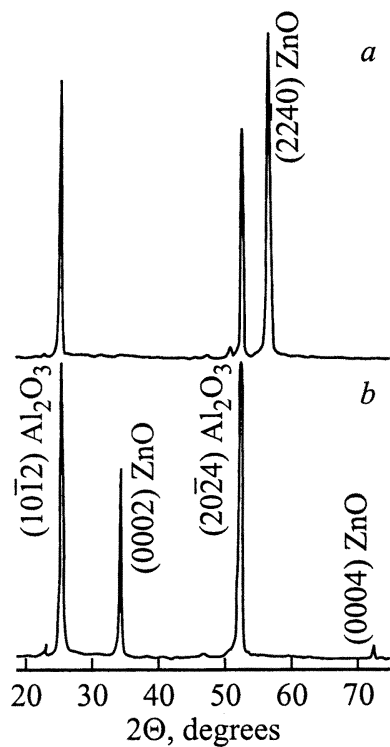
Рентгенодифракционные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-2 с использованием  $Cu_{K\alpha}$  — излучения, монохроматизирован-



**Рис. 1.** Морфология ЭС ZnO, выросших: *a* — плоскостью  $(11\bar{2}0)$  ZnO и *b* — плоскостью  $(0001)$  ZnO параллельно плоскости одной подложки  $(10\bar{1}2)\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\times 350$ .

ного с помощью кристалла пирографита. На рис. 2 приведены дифрактограммы слоев оксида цинка, полученных: *a* — без промежуточного слоя на чистой поверхности  $(10\bar{1}2)\text{Al}_2\text{O}_3$ , *b* — на части подложки с предварительно нанесенной пленкой ММР. Дифрактограмма *a* — характерная дифрактограмма ЭС  $(11\bar{2}0)$  ZnO, в то время как *b* — соответствует высокоориентированным слоям базисной ориентации. Слои ZnO с обоих участков подложки дополнительно изучались на электронографе ЭМР-100 и на основании совместных исследований делался вывод о степени совершенства кристаллической структуры ЭС ZnO на обеих частях подложки.

Таким образом, использование двухстадийного метода позволяет получать ЭС ZnO с двумя четко выделенными ориентациями на поверхности одной подложки  $(10\bar{1}2)\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , а именно:  $(11\bar{2}0)$  ZnO и  $(0001)$  ZnO. При этом толщина границы, разделяющей слои разной ориентации, в определенной степени связана с точностью экранирования



**Рис. 2.** Дифрактограммы ЭС ZnO, полученных методом ХТР: *a* — на чистой поверхности сапфира и *b* — с использованием промежуточного ММР-слоя.

на первой стадии, не допускающей подпыления на закрытую часть подложки. Очевидно также, что для получения последовательности цепочек подобных переходов требуются только соответствующие маски ждя экранирования на первой стадии формирования структур ММР. О результатах создания таких цепочек и о свойствах границы перехода мы сообщим в ближайшее время.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 98-02-16141.

## Список литературы

- [1] *Веревкин А.А., Ильин В.А., Липатов А.П.* и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 24. В. 24. С. 83–89.
- [2] *Маштаков А.Д., Константиныч К.И., Овсянников Г.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 7. С. 1–8.
- [3] *Mathur N.D., Burnell G., Isaac S.P.* et al. // Nature. 1997. V. 387. P. 266–268.
- [4] *Shiosaki T., Ohnishi S., Kawabata A.J.* // Appl. Phys. 1979. V. 50. N 5. P. 3113.
- [5] *Атаев Б.М., Камилов И.К., Багамадова А.М.* и др. // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 11. С. 138–140.
- [6] *Абдуев А.Х., Атаев Б.М., Багамадова А.М.* // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1987. № 11. С. 1928.