

Сравнение гомоэпитаксиального роста кристаллов AlN на Al- и N-поверхностях

© А.А. Вольфсон, Е.Н. Мохов[¶]

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской Академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 17 мая 2011 г. Принята к печати 21 мая 2011 г.)

С помощью специальной экспериментальной методики, позволяющей исключить влияние различий источников, кристаллов-подложек и параметров ростового процесса, проведено корректное сравнение качества гомоэпитаксиальных слоев AlN, выращенных методом сублимации на Al- и N-поверхностях кристалла-подложки, имеющего ориентацию $\langle 0001 \rangle$. Установлено, что в большинстве случаев качество слоев, выращенных на N-поверхности несколько выше, однако в отдельных случаях никакого различия не наблюдалось. Отсюда можно заключить, что окно параметров ростового процесса для N-стороны существенно больше, чем для Al-стороны.

1. Введение

На сегодняшний день становится очевидным, что нитрид алюминия благодаря удачному сочетанию свойств (прочность, химическая стойкость, высокое электросопротивление и теплопроводность, большая ширина запрещенной зоны, меньшее по сравнению с SiC и сапфиром, отличие параметров решетки AlN относительно AlGaN) является оптимальным подложечным материалом для создания разнообразных приборов силовой высокотемпературной электроники и коротковолновой оптоэлектроники на основе нитридных кристаллов. Поэтому понятна все возрастающая активность ученых и технологов в области получения и исследования толстых слоев и объемных кристаллов AlN.

Известно, что используемые обычно кристаллические подложки AlN с ориентацией $\langle 0001 \rangle$ „полярны“, т.е. на одной их поверхности всегда расположены атомы Al, а на другой атомы N. Естественно возникает вопрос: следует ли предпочесть одну из них для гомоэпитаксиального роста кристаллов AlN? Преобладало мнение, что Al-сторона является предпочтительной [1], но достаточно строго (по-видимому, впервые) эта проблема экспериментально исследовалась в работе [2] для наиболее распространенного сублимационного способа выращивания. Авторы пришли к выводу, что рост на N-стороне более устойчив (т.е. допускает более широкое окно параметров ростового процесса) и позволяет получать кристаллы с более совершенной структурой. Это объясняется различием поверхностной энергии (для N-поверхности она примерно в 3 раза больше, чем для Al).

Хотя выводы работы [2] представляются обоснованными, однако можно указать на недостаточную строгость эксперимента. Дело в том, что наращивание слоя на N- и Al-поверхности проводилось в отдельных опытах, а это значит, что:

1) каждый раз использовался новый источник AlN и были возможны некоторые вариации его качества;

2) каждый кристалл-подложка мог иметь свои особенности строения кристаллической решетки, содержания дефектов, состояния поверхности и т.п.;

3) в ходе каждого ростового процесса, несмотря на самый строгий контроль, возможны небольшие изменения его параметров, которые наряду с причинами, указанными в 1) и 2), могут оказать заметное влияние на качество растущего кристалла.

2. Эксперимент

Чтобы сделать результаты опытов по сравнению роста на N- и Al-поверхностях более убедительными, мы использовали специальную экспериментальную методику. Пластика кристалла-подложки подвергалась с обеих сторон стандартной механической и химической обработке. Затем она разрезалась на две примерно равные части, которые наклеивались в стык по линии разреза на танталовый держатель, одна вверх Al-поверхностью, а другая вверх N-поверхностью (см. рис. 1). Смонтированный таким образом кристалл-подложка устанавливался в ростовую ячейку для проведения процесса наращивания слоя. Такая постановка опыта позволяла снять замечания по недостаточной строгости эксперимента, адресованные нами выше к работе [2].

Техническое оснащение и технологические параметры наших опытов в основном рассмотрены в работе [3]. В качестве резистивного нагревателя использовался полый графитовый цилиндр, внутри которого размещались танталовый тигель, заполненный источником, и кристалл-подложка, плотно (но не вакуумно-плотно) прилегающая к верхнему краю тигля. Источником служили полученные в результате предварительной перегонки порошка AlN поликристаллические блоки произвольной формы объемом 10–50 мм³. Ростовая ячейка (тигель с источником и прилегающей к тиглю подложкой) располагалась в верхней части нагревателя, так чтобы градиент температуры (~ 7 град/мм) был направлен от подложки к источнику (т.е. подложка несколько холоднее), благодаря чему происходили перенос AlN и

[¶] E-mail: Mokhov@mail.ioffe.ru



Рис. 1. Комбинированный кристалл-подложка с выращенным слоем, состоящий из 2 частей одного кристалла AlN, наклеенных встык по линии разреза на танталовый держатель: слева — вверх N-поверхностью, справа — вверх Al-поверхностью.

его конденсация на подложке. Ростовой процесс шел в атмосфере азота, температура ростовой ячейки поддерживалась постоянной ($\sim 2000^\circ\text{C}$). Толщина полученных слоев была ~ 300 мкм, скорость роста ~ 100 мкм/ч.

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

В результате проведенных опытов нами было установлено, что в большинстве случаев слои, выращенные на N-поверхности, были более гладкими, имели поверхность с характерными признаками послойного роста и более совершенную кристаллическую структуру, судя по данным рентгеновских измерений. Однако в отдельных опытах наблюдалось практически полное совпадение как структуры Al- и N-поверхностей выращенных слоев, так и их рентгеновских характеристик. Типичные примеры приведены в таблице и на рис. 2.

Видно, что в образцах 44-D и 49-D для N-поверхности ω меньше, хотя и незначительно. Поверхности выглядят зеркальными, однако при наблюдении в ми-

Ширине на половине высоты максимума интенсивности кривой качания рентгеновской дифракции ω

| Образец | Подложка | N-поверхность | Al-поверхность |
|---------|----------|---------------|----------------|
| 44-D | 10' | 8' | 11' |
| 49-D | 21' | 17' | 20' |
| 48-D | 10' | 9' | 9' |

кроскоп (рис. 2, *a*) легко заметить, что N-поверхность имеет вид, характерный для послойного роста, а для Al-поверхности проявляется влияние многих центров роста. В тоже время для образца 48-D для обеих поверхностей имеет место как совпадение величин ω , так и одинаковый вид поверхности выращенного слоя, характерный для послойного роста.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что действительно, как и утверждалось в работе [2], рост на N-поверхности более устойчив и позволяет получать более совершенные слои. Однако, при оптимальном сочетании параметров ростового процесса можно получить слои одинакового качества на обеих поверхностях. Иначе говоря, окно параметров ростового процесса существенно больше в случае использования N-поверхности.

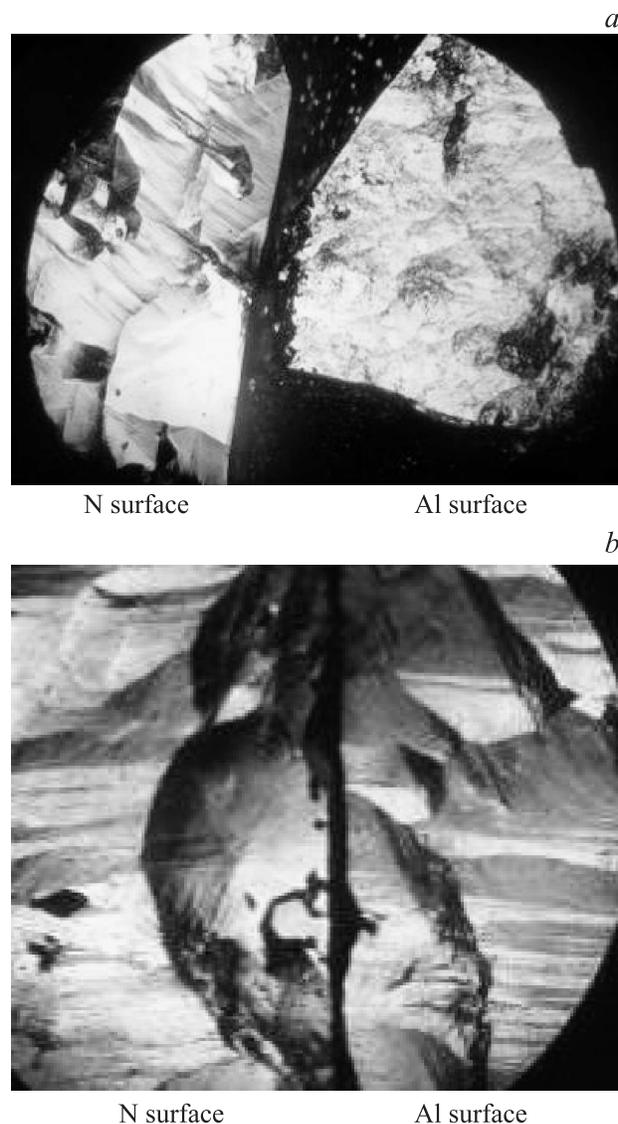


Рис. 2. Увеличенные изображения образцов 49-D (*a*) и 48-D (*b*).

Список литературы

- [1] B.M. Epelbaum, C. Seitz, A. Magerl, M. Bickermann, A. Winnacker. *J. Cryst. Growth*, **265**, 577 (2004).
- [2] Z.G. Herro, D. Zhuang, R. Schlessler, R. Collazo, Z. Sitar. *J. Cryst. Growth*, **286**, 205 (2006).
- [3] E.N. Mokhov, O.V. Avdeev, I.S. Barash, T.Yu. Chemekova, A.D. Roenkov, A.S. Segal, A.A. Wolfson, Yu.N. Makarov, M.G. Ramm, H. Helava. *J. Cryst. Growth*, **281**, 93 (2005).

Редактор Л.В. Шаронова

Comparison of AlN crystals homoepitaxial growth on Al and N surfaces

A.A. Wolfson, E.N. Mokhov

Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract The special experimental procedure was used for correct comparison of AlN crystals homoepitaxial growth on Al and N surfaces of substrate with $\langle 0001 \rangle$ orientation. It allowed to eliminate the influence of difference of sources, substrate crystals and growing process parameters. It was established that the quality of layers grown on the N surface mainly was better than on the Al surface, but sometimes there was not any difference. So we can conclude that the N surface offers a more relaxed growth parameter window.