

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

© А.А. Вольфсон, Е.Н. Мохов<sup>¶</sup>

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 разистивного 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 мм<sup>3</sup>. Ростовая ячейка (тигель с источником и прилегающей к тиглю подложкой) располагалась в верхней части нагревателя, так чтобы градиент температуры ( $\sim 7$  град/мм) был направлен от подложки к источнику (т.е. подложка несколько холоднее), благодаря чему происходили перенос AlN и

<sup>¶</sup> 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, сплава — 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  $\sim 300$  мкм, скорость роста  $\sim 100$  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.

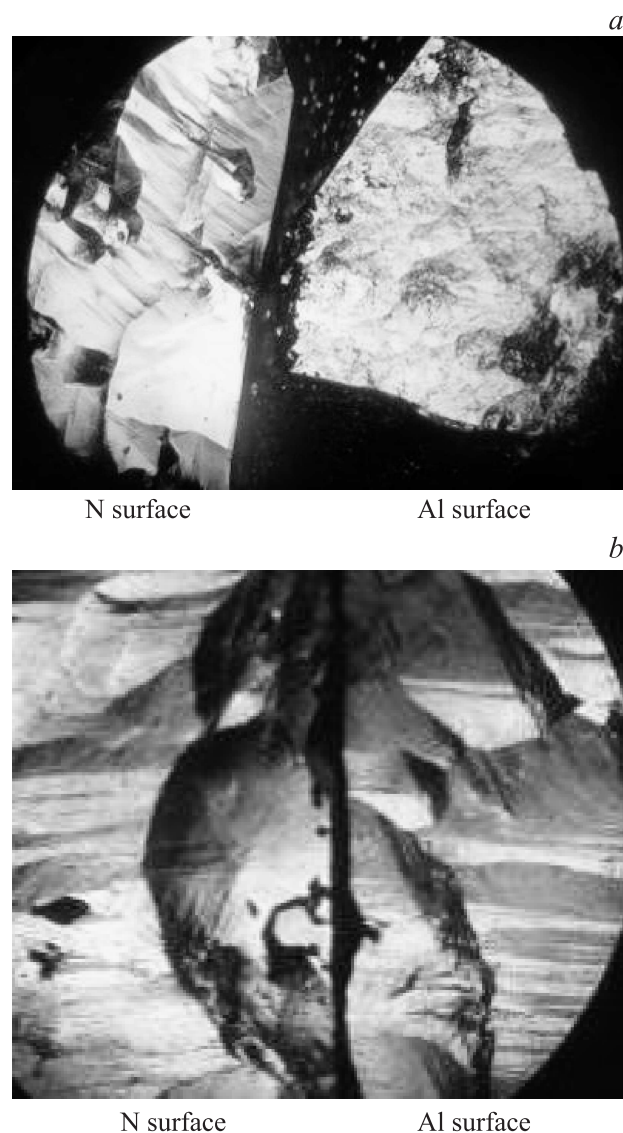
Видно, что в образцах 44-D и 49-D для N-поверхности  $\omega$  меньше, хотя и незначительно. Поверхности выглядят зеркальными, однако при наблюдении в ми-

Ширину на половине высоты максимума интенсивности кривой качания рентгеновской дифракции  $\omega$

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  $\omega$ , 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.