

# Самопроизвольное отделение слоя AlN, полученного методом сублимации, от подложки SiC-6H

© А.А. Вольфсон<sup>¶</sup>

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

(Получена 24 декабря 2008 г. Принята к печати 30 декабря 2008 г.)

Получение толстых слоев и объемных кристаллов AlN — одна из актуальных задач современной науки и техники. Основной метод ее решения — сублимационный, когда испаряемый при температуре около 2000°С слой AlN эпитаксиально наращивается на подложку SiC. Серьезной проблемой в этом случае является различие коэффициентов термического расширения этих материалов, которое при остывании до комнатной температуры приводит к изгибу, растрескиванию и большим механическим напряжениям в слое AlN. В данной работе рассмотрен случай самопроизвольного отделения не имеющего трещин слоя AlN от подложки SiC, что указывает на реальную возможность выстраивания такой технологии роста, при которой их разделение станет обязательным. Возможные причины самопроизвольного разделения слоя и подложки: 1) образование на интерфейсе прослойки алюминия; 2) развитие начальной стадии роста по схеме, описанной ранее, когда слой и подложка атомарно связаны только на отдельных относительно немногочисленных участках, где происходило зарождение растущего кристалла, а при остывании эти участки разрушались, и слой отделялся от подложки. Пока не ясно, какие особенности или аномалии ростового процесса привели к описываемому результату.

PACS: 81.05.Ea, 81.10.Bk.

## 1. Введение

Получение качественных толстых слоев и объемных кристаллов AlN, пригодных к использованию в качестве подложек для формирования на их основе приборов оптоэлектроники и силовой микроволновой электроники, — одна из актуальных задач современной полупроводниковой технологии. На сегодняшний день наиболее успешно она решается методом сублимаций [1]. Поскольку ростовой процесс в этом случае идет при температуре около 2000°С, единственной подложкой, пригодной для эпитаксиального наращивания слоя AlN, является SiC, имеющий близкие параметры кристаллической решетки и высокую термостойкость. Однако различие коэффициентов термического расширения этих материалов зачастую приводит к изгибу и растрескиванию слоя в процессе остывания, поэтому получение недеформированных и свободных от трещин слоев и объемных кристаллов AlN является серьезной научной и технологической проблемой.

В данной работе рассмотрен случай самопроизвольного отделения выращенного слоя AlN от кристалла-подложки SiC, когда не произошло обычного растрескивания слоя. Хотя это имело место только в одном из более 100 опытов, очевидно, существует реальная возможность так выстроить технологический процесс, чтобы этот результат стал обязательным.

## 2. Эксперимент

Техническое оснащение и методика опыта в основном описаны в работе [2]. В качестве резистивного нагрева-

теля использовался полный графитовый цилиндр, внутри которого располагались танталовый тигель с источником и подложка. Источником служил предварительно спрессованный и отожженный в вакууме порошок AlN, а подложкой — пластина SiC-6H диаметром 25 мм, толщиной 1 мм, механически шлифованная, полированная и затем протравленная в расплаве KOH.

Ростовая ячейка (тигель с накрывающей его подложкой) располагалась внутри нагревателя так, чтобы градиент температуры был направлен от подложки к источнику (т.е. подложка несколько холоднее). Благодаря этому происходил перенос паров AlN от источника к подложке и их конденсация на подложке. Температура в ростовой ячейке поддерживалась вблизи 2000°С, скорость испарения источника была 290 мг/ч, а скорость роста слоя AlN — 500 мкм/ч. Продолжительность непосредственно ростового процесса, не считая времени разогрева, охлаждения и прочее, составляла 0.5 ч.

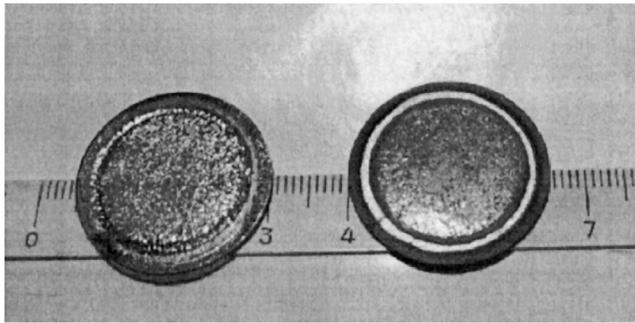
Наращивание слоя AlN происходило в атмосфере азота.

Охлаждение ростовой ячейки производилось ступенчато, с интервалом 15 мин. Средняя скорость охлаждения была около 10 град/мин.

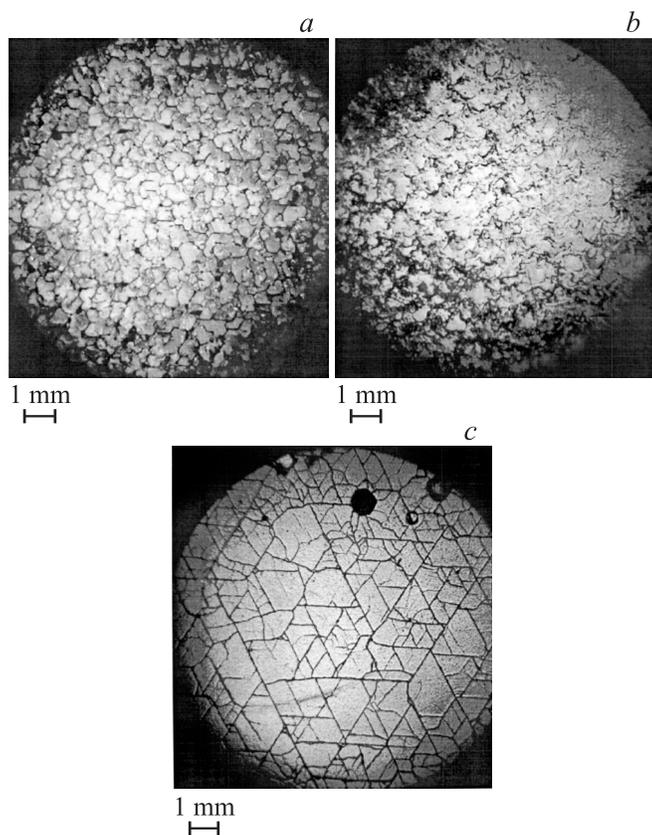
## 3. Результаты эксперимента и их обсуждение

После завершения процесса охлаждения и вскрытия ростовой ячейки было обнаружено, что образовавшийся слой AlN самопроизвольно отделился от кристалла-подложки. Фотография слоя со стороны ростовой поверхности рядом с подложкой со стороны интерфейса на фоне измерительной линейки дана на рис. 1. Слой

<sup>¶</sup> E-mail: mokhov@mail.ioffe.ru



**Рис. 1.** Фотография слоя AlN (справа — со стороны ростовой поверхности, наклеен на металлическую пластинку) рядом с кристаллом-подложкой SiC-6H (слева — со стороны интерфейса) на фоне измерительной линейки.



**Рис. 2.** Увеличенное изображение: *a* — участка ростовой поверхности слоя AlN; *b* — участка подложки SiC-6H со стороны интерфейса; *c* — обычного слоя AlN на подложке SiC-6H с характерными линиями растрескивания.

во избежание повреждений наклеен на металлическую пластинку. На рис. 2, *a-c* даны фотографии ростовой поверхности слоя, поверхности подложки со стороны интерфейса и для сравнения вид обычного слоя на подложке SiC с характерными следами растрескивания.

Ростовая поверхность слоя блестящая, но не гладкая, с рельефом, указывающим на многоцентровый характер роста кристалла. Тем не менее, по данным рентгеновской дифракции, полуширина кривой качания равна 10 мин, что означает достаточно хорошее совершенство кристаллической решетки. Никаких следов растрескивания слоя не наблюдается.

Интерфейс кристалла-подложки, исходно имевший полированную поверхность, выглядит сильно „изъеденным“. Это, по-видимому, вызвано испарением SiC и его травлением в парах Al на начальной стадии ростового процесса.

#### 4. Заключение

Предположительно, можно указать две следующие причины самопроизвольного отделения выращенного слоя от подложки:

1) образование на интерфейсе промежуточной прослойки алюминия, по которой при остывании слой, как по смазке, скользит относительно подложки, так как алюминий затвердевает только при  $660^{\circ}\text{C}$ , да и в твердом состоянии он очень пластичен;

2) начальная стадия роста слоя развивалась так, как это описано в работе [1], когда слой и подложка атомарно связаны только на отдельных, относительно немногочисленных участках, где происходило зарождение растущего кристалла, а при остывании происходило разрушение этих участков и отделение слоя от подложки.

Нельзя исключить и того, что обе эти причины одновременно имели место.

Пока не ясно, какие особенности или аномалии ростового процесса привели к описанному выше результату.

#### Список литературы

- [1] E.N. Mokhov, O.V. Avddev, I.S. Barash, T.Yu. Chemekova et al. *J. Cryst. Growth*, **281**, 93 (2005).
- [2] R. Yakimova et al. *Compoundsemiconductor. net. News*, 29.08.2008. *SiC pyramids yield AlN substrate solution*.

Редактор Т.А. Полянская

## Spontaneous separation of AlN layer grown by sublimation method on SiC-6H substrate

A.A. Wolfson

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

**Abstract** The growing of AlN thick layers and bulk crystals is one of the actual problems of a present-day science and technique. The main method to solve it is the sublimation when AlN evaporates at the temperature near 2000°C and grows epitaxially on a SiC substrate. The large difficulty in this case is a difference between thermal expansion coefficients of that materials which results in the bend, the cracking and the large mechanical tensions in AlN layer after cooling to the room temperature. In this paper the case of spontaneous separation of free of cracks AlN layer from SiC substrate is considered. It means that there is a real possibility to form such a growing technology when such separation will be inevitable. The probable reasons of such spontaneous separation: (1) formation of thin Al layer at the interface; (2) proceeding of the initial stage of growing according to scheme described early when the layer and the substrate are connected by crystal forces only at the separate places which are destroying during the cooling and separation happens. Now it is unclear what peculiarities or anomalies of growing process have led to the described result.