

Зависимость скорости роста слоя AlN от величины зазора между источником и подложкой при сублимационном методе выращивания

© А.А. Вольфсон[†]

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

(Получена 1 апреля 2014 г. Принята к печати 22 апреля 2014 г.)

В предлагаемой работе, посвященной изучению условий роста толстых слоев и объемных кристаллов AlN в сублимационном сандвич-методе, впервые для этого материала экспериментально получены зависимости скорости роста слоя от величины зазора источник–подложка для двух значений давления азота в реакторе: 0.3 и 0.6 бар. Полученные результаты указывают на то, что основным механизмом переноса компонентов источника на подложку является диффузия. Вклад кинетических эффектов становится заметным при минимальном зазоре 0.3 мм, особенно при меньшем давлении азота, 0.3 бар.

1. Введение

Получение качественных толстых слоев и объемных кристаллов AlN, пригодных для использования в качестве подложек для создания на их основе приборов оптоэлектроники, силовой электроники и других устройств, — одна из актуальных задач современной физики и технологии полупроводников. В настоящее время наиболее успешно она решается посредством сублимационного сандвич-метода [1–3]. Хотя на этом пути достигнуты впечатляющие результаты (выращиваются кристаллы диаметром 2 дюйма и толщиной в несколько миллиметров [3]), исследователи продолжают активно работать над определением оптимальных параметров ростового процесса, дающих возможность получать качественные кристаллы при максимальных скоростях роста.

Одним из важнейших параметров ростового процесса является величина зазора между источником и подложкой, на которую наращивается слой. Эта величина в значительной степени определяет, какой механизм будет преобладать при переносе компонентов источника на подложку: диффузия, кинетические эффекты (т.е. процессы абсорбции–десорбции на поверхности источника и подложки) или их суперпозиция, а в конечном счете, какова будет скорость роста слоя.

Теоретически зависимость скорости роста слоя от основных параметров ростового процесса (температура, давление газовой среды, градиент температуры в зазоре источник–подложка и, наконец, сама величина этого зазора) была рассмотрена достаточно подробно [4–9]. В то же время экспериментальные данные для AlN по влиянию величины зазора источник–подложка на скорость роста слоя в литературе нам не встречались. Восполнение этого пробела и явилось целью данной работы. Теоретическое рассмотрение [8,9] дает характер зависимости скорости роста слоя (V_g) от величины зазора (h), качественно показанный на рис. 1. При

малых значениях h , когда реализуется кинетическая модель переноса компонентов источника на подложку, применима формула

$$V_g \propto k\Delta T = k \operatorname{grad} T \cdot h, \quad (1)$$

где k — кинетический коэффициент, ΔT — перепад температуры между источником и подложкой, а $\operatorname{grad} T$ — градиент температуры в зазоре h . Этой формуле на рис. 1 соответствует прямая 1 из начала координат (при условии постоянства $\operatorname{grad} T$ в зазоре h , что, строго говоря, не бесспорно). При больших значениях h , когда более вероятна диффузионная модель, пригодна формула

$$V_g = D_i \Delta P_i / RT_{ss} h, \quad \text{т.е.} \quad V_g \propto 1/h, \quad (2)$$

где D_i — коэффициент диффузии i -компонента источника, ΔP_i — разность концентрации i -компонента на поверхностях источника и подложки, а T_{ss} — полу-сумма температур на этих поверхностях. Формуле (2) соответствует кривая 2 на рис. 1. В промежуточной области зависимость V_g от h определяется вкладом обоих механизмов, что и отражено на рис. 1 кривой 3.

2. Эксперимент

Техническое оснащение и методика опытов в основном описаны в работе [2]. В качестве резистивного нагревателя использовался полый графитовый цилиндр, внутри которого находились танталовый тигель с помещенным в него источником и подложка, плотно (но не вакуумно-плотно) прилегающая к верхнему краю тигля. Источником служила плоская пластинка AlN заданной толщины, шлифованная, полированная и протравленная в расплаве KOH, а подложкой — плоская пластинка карбида тантала, обработанная аналогичным образом. Кроме того, для задания точной величины зазора h использовались плоские пластинки и кольца разной толщины из карбида тантала — материала, который

[†] E-mail: Mokhov@mail.ioffe.ru

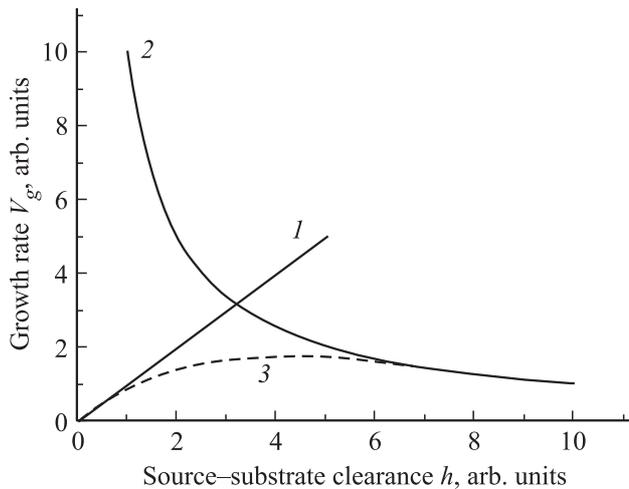


Рис. 1. Качественный вид зависимости скорости роста V_g от величины зазора h . 1 — малые зазоры, справедливо (1); 2 — большие зазоры, справедливо (2); 3 — промежуточная область, где кинетический и диффузионный механизмы переноса действуют совместно.

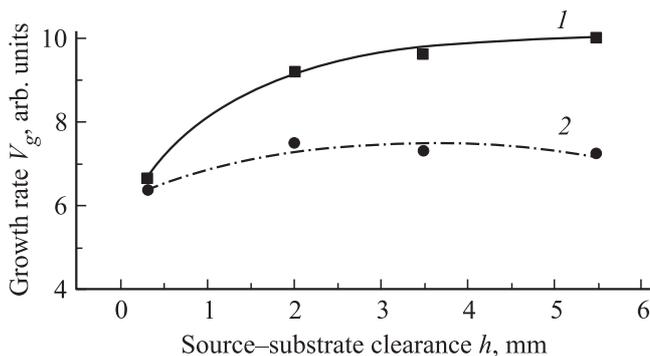


Рис. 2. Экспериментальные результаты для зависимости скорости роста V_g от величины зазора h : давление азота в реакторе 0.3 (1) и 0.6 бар (2).

очень устойчив к воздействию высоких температур и не деформируется в результате циклов нагрев–охлаждение.

Ростовая ячейка (тигель с источником и 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 и происходили перенос AlN и его конденсация на подложке.

Измерения были выполнены при двух значениях давления азота в реакторе — 0.3 и 0.6 бар, которые приблизительно соответствуют границам диапазона давлений, практически используемых для сублимационного метода. Все остальные параметры ростового процесса и конфигурация ростовой ячейки в ходе опытов сохранялись неизменными. Изменялась только величина зазора h . Продолжительность рабочей фазы процесса составляла 1 ч, а температура подложки была $\sim 2000^\circ\text{C}$.

Незначительное уменьшение зазора из-за роста слоя практически компенсировалось испарением пластинки–источника. Скорость роста слоя определялась не по увеличению толщины, а по увеличению веса подложки, чтобы избежать ошибок, связанных с неоднородностью слоя по толщине и неровностью его поверхности. Усредненная толщина слоя вычислялась исходя из его площади и удельного веса AlN (3.25 г/см^3).

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

На рис. 2 приведены полученные нами экспериментальные зависимости скорости роста слоя от величины зазора источник–подложка для двух значений давления азота в реакторе: 0.3 (кривая 1) и 0.6 бар (кривая 2). Сравнивая их с кривой 3 на рис. 1, можно предположить, что обе они соответствуют промежуточной области, где действуют одновременно и кинетический, и диффузионный механизмы переноса компонентов источника. Однако в то время как для кривой 2 зависимость от величины зазора сравнительно мала, т.е. влияние диффузионного механизма заметно преобладает, что представляется естественным из-за большего давления газа, для кривой 1 вклад кинетических эффектов проявляется сильнее, особенно при минимальной величине зазора. Следует также отметить, что величины скорости роста при 0.3 бар больше, чем при 0.6 бар. Это согласуется с результатами, приведенными в работах [10,11].

4. Заключение

Впервые экспериментально получены для AlN зависимости скорости роста слоя от величины зазора источник–подложка для двух значений давления азота в реакторе — 0.3 и 0.6 бар. Полученные результаты указывают на то, что основным механизмом переноса компонентов источника на подложку является диффузия. Вклад кинетических эффектов становится заметным при минимальном зазоре 0.3 мм, особенно при меньшем давлении 0.3 бар.

Список литературы

- [1] Yu.A. Vodakov, E.N. Mokhov, M.G. Ramm, A.D. Roenkov. *Kristall. Techn.*, **14**, 729 (1979).
- [2] 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).
- [3] Yu.N. Makarov, O.V. Avdeev, I.S. Barash, D.S. Bazarevskiy, T.Yu. Chemekova, E.N. Mokhov, S.S. Nagalyuk, A.D. Roenkov, A.S. Segal, Yu.A. Vodakov, M.G. Ramm, S. Davis, G. Humnic, H. Helava. *J. Cryst. Growth*, **310**, 881 (2008).
- [4] S.Yu. Karpov, D.V. Zimina, Yu.N. Makarov, E.N. Mokhov, A.D. Roenkov, M.G. Ramm, Yu.A. Vodakov. *Phys. Status Solidi A*, **176**, 435 (1999).

- [5] A.S. Segal, S.Yu. Karpov, Yu.N. Makarov, E.N. Mokhov, A.D. Roenkov, M.G. Ramm, Yu.A. Vodakov. *J. Cryst. Growth*, **211**, 68 (2000).
- [6] T.K. Hossain, J.V. Lindsay, M.G. Spencer. [*cond. mat. mtrl-sci*] (Apr. 2002).
- [7] B. Wu, R. Ma, H. Zang, M. Dudley, R. Schlessler, Z. Sitar. *J. Cryst. Growth*, **253**, 326 (2003).
- [8] S.G. Mueller, R.T. Bondokov, K.E. Morgan, G.A. Slack, S.B. Schujman, J. Grandusky, J.A. Smart, L.J. Schowalter. *Phys. Status Solidi A*, **206**, 1153 (2009).
- [9] E.N. Mokhov, A.D. Roenkov, A.S. Segal. *Mater. Res. Forum*, **740–742**, 69 (2013).
- [10] А.А. Вольфсон, Е.Н. Мохов. *ФТП*, **44**, 1430 (2010).
- [11] G.R. Yazdy, M. Sivajarvi, R. Yakimova. *Phys. Scr.*, **126**, 127 (2006).

Редактор Л.В. Шаронова

Dependence of AlN layer growth rate on the clearance between source and substrate for sublimation growth method

A.A. Wolfson

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

Abstract This work deals with AlN thick layers and bulk crystals growing conditions for sublimation sandwich-method. Dependences of growth rate on the clearance between source and substrate are investigated experimentally first for this material for two values of nitrogen pressure inside reactor. The obtained results show that the main mechanism of transfer of source components to substrate is diffusion. Contribution of kinetic effects is appreciable at the smallest clearance 0.3mm especially for lesser nitrogen pressure 0.3 bar.