

03;06

Влияние газа-носителя на процесс газотранспортной эпитаксии нитрида галлия из металлоорганических соединений

© В.В. Лундин, Е.Е. Заварин, Д.С. Сизов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail:lundin.vpregroup@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 3 ноября 2004 г.

Исследовано влияние водорода и азота на скорости роста и травления нитрида галлия при эпитаксии из металлоорганических соединений. На основании полученных результатов высказаны предположения о роли водорода и азота в процессах, протекающих на поверхности эпитаксиального слоя.

Несмотря на значительный прогресс в технологии выращивания структур на основе нитрида галлия (GaN) методом газотранспортной эпитаксии разложением металлоорганических соединений (ГФЭ МОС), механизмы роста слоев GaN в процессе ГФЭ МОС все еще малоизучены. В частности, неизвестно влияние газа-носителя на процесс роста GaN. В ГФЭ МОС соединений III–V, в том числе и GaN, в качестве газа-носителя обычно используется водород, что обусловлено легкостью его глубокой очистки с помощью палладиевых диффузионных фильтров. Однако в водороде и водород-аммиачных смесях GaN химически нестабилен. Выключение потока триметилгаллия при типичных для ГФЭ МОС GaN условиях в реакторе приводит к травлению GaN [1]. Природа этой нестабильности и ее влияние на процесс роста GaN практически не изучены. Сообщалось об использовании в качестве газа-носителя при ГФЭ МОС GaN азота [2,3] и азот-водородных смесей [4,5]. Однако в этих сообщениях упор делался на свойства полученных слоев, а не на особенности эпитаксиального процесса. В данной работе систематически изучались скорости роста и травления GaN в зависимости от температуры реактора, состава газа-носителя и потока триметилгаллия.

Эксперименты проводились на модернизированной установке ГФЭ МОС Eriqur VP-50 RP с использованием в качестве источников триметилгаллия (ТМГ) и аммиака. Установка позволяет использовать в качестве газа-носителя азот-водородную смесь произвольного состава. Скорости роста и травления GaN определялись с помощью лазерной рефлектометрии [1]. В качестве подложек использовались слои GaN на сапфире (квазиподложки GaN), выращенные на установке AIX2000 HT.

Каждый эксперимент начинался с выращивания на исходной квазиподложке слоя GaN при стандартных для установки Eriqur VP-50 RP условиях [6]. После этого в реакторе изменялись температура и состав газа-носителя (при сохранении потока аммиака и общего потока) и проводилось измерение скорости роста GaN (при подаче ТМГ в реактор) и скорости травления (при выключении потока ТМГ). Все описываемые в данном сообщении эксперименты можно разделить на три серии. В первой серии экспериментов в качестве газа-носителя использовался азот. Скорость роста в этом случае прямо пропорциональна потоку ТМГ и не зависит от температуры (рис. 1). При выключении ТМГ травление GaN не наблюдалось. Во второй серии экспериментов в качестве газа-носителя использовался водород. В этом случае скорость роста также линейно зависит от потока ТМГ, однако экстраполяция этой зависимости пересекает ось ординат ниже нулевого уровня, что соответствует травлению (вставка на рис. 1). Прямое измерение скорости травления при выключенном ТМГ (рис. 1) дает то же значение, что и определенное по экстраполяции зависимости скорости роста от потока ТМГ. Повышение температуры уменьшает скорость роста и увеличивает скорость травления.

В третьей серии экспериментов в качестве газа-носителя использовалась азот-водородная смесь. Изменялись скорости роста и травления в зависимости от соотношения азота и водорода. Результаты этих экспериментов для двух температур (1070 и 1120°C) представлены на рис. 2. В целом наблюдающиеся зависимости отражают конкуренцию процессов роста и травления: в безводородной атмосфере травление не наблюдается, скорость роста при использовании водорода выше (предположительно, из-за большего коэффициента диффузии компонент — источников III группы), чем при использовании азота.

При температуре 1070°C зависимость скорости роста от состава газа-носителя монотонно уменьшается с увеличением содержания азота

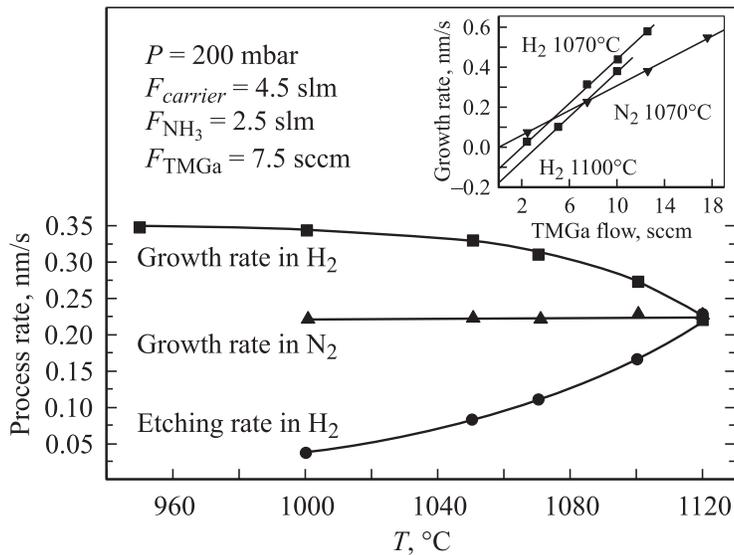


Рис. 1. Зависимость скорости роста и травления GaN от температуры и потока триметилгаллия. Здесь slm — см.л./мин; sccm — см³/мин.

(что хорошо соотносится с результатами, представленными на рис. 1), однако наблюдается некоторая нелинейность (ранее схожие наблюдения были опубликованы в [5]). Скорость травления быстро уменьшается при увеличении содержания азота в реакторе и при соотношении азота и водорода 1:1 травление практически не наблюдается.

При температуре 1120°C зависимость скорости травления от состава носит более ровный характер, хотя все равно наблюдается непропорционально быстрое ее уменьшение с увеличением содержания азота. Изменение скорости роста при этой температуре носит сложный, немонотонный характер.

В целом, на основании полученных результатов можно сделать следующие предварительные выводы:

Влияние травления должно учитываться при разработке газотранспортной технологии структур на основе GaN, особенно если во время технологического процесса необходимо производить прерывание роста.

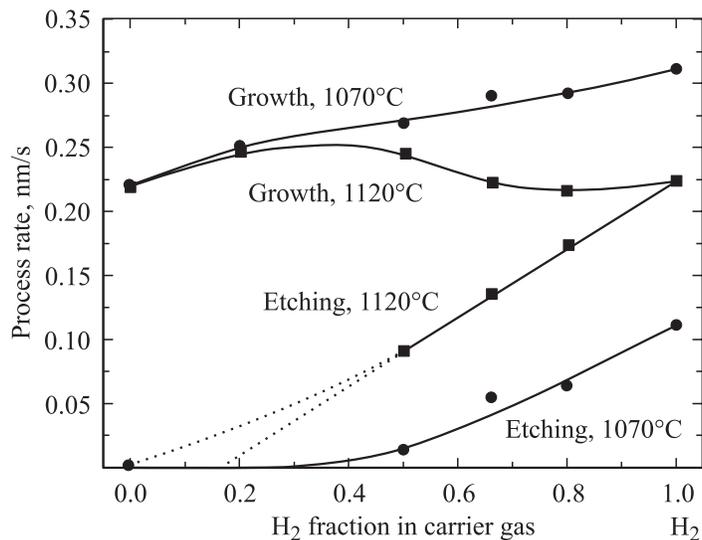


Рис. 2. Зависимость скорости роста и травления GaN от соотношения азота и водорода в несущем газе.

Совпадение скоростей травления, определенных по прямым измерениям и по экстраполяции зависимости скорости роста от потока ТМГ, указывает на то, что пуск ТМГ в атмосферу реактора не влияет на процесс травления, а значит — не изменяет состояние поверхности.

Сильное подавление травления GaN при добавлении азота в атмосферу реактора позволяет поставить под сомнение химическую инертность азота по отношению к процессу травления GaN. Прямое измерение зависимости скорости травления GaN от парциального давления водорода (при неизменном парциальном давлении аммиака) показало, что роль азота не может быть объяснена простым разбавлением водорода. Возможно, азот препятствует диффузионному оттоку продуктов травления от поверхности, что увеличивает вероятность их пересадки. С другой стороны, известно, что GaN является катализатором разложения аммиака [7]. Если предположить, что механизм каталитического действия GaN аналогичен механизму действия типичных металлических катализаторов, используемых в процессах синтеза и

разложения аммиака (железо, никель. . .) [8], то на поверхности GaN происходят следующие процессы: молекулы водорода диссоциируют на атомы (возможно, GaN травится именно атомарным водородом), а молекулы азота связываются с атомами галлия на поверхности GaN, делаясь менее прочными. При этом поверхность GaN оказывается пассивированной, а молекулы азота с ослабленными связями могут соединяться с атомами водорода в молекулы аммиака, препятствуя их взаимодействию с GaN.

В заключение авторы благодарят А.В. Фомина и Р.А. Талалаева за плодотворные дискуссии, Ю.П. Яковлева и П.С. Копьева за поддержку данной работы.

Список литературы

- [1] *Sakharov A.V., Lundin W.V., Krestnikov I.L.* et al. // Proceedings of IWN. 2000.
- [2] *Yamaguchi S., Kariya M., Kosaki M.* et al. // J.Appl. Phys. 2001. V. 89. N 12. P. 7820–7824.
- [3] *Schon O., Schineller B., Heuken M.* et al. // J. Cryst. Growth. 1998. V. 189/190. P. 335–339.
- [4] *Nakamura S.* // Jpn. J. Appl. Phys. 1991. V. 30. L 1705.
- [5] *Wang H.X., Amijima Y., Ishihama Y.* et al. // J. Cryst. Growth. 2001. V. 233. P. 681–686.
- [6] *Лундин В.В., Сахаров А.В., Цацульников А.Ф.* и др. // ФТП. 2004. Т. 38. В. 6. С. 705–709.
- [7] *Liu S.S., Stevenson D.A.* // J. of the Electrochem. Soc. 1978. V. 125. P. 1161.
- [8] *Глинка Н.Л.* Общая химия. Л., 1983. 704 с.