

**А.А.Зайцев<sup>1</sup>, П.А.Юнин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ОАО "Конструкторское бюро"Икар"

<sup>2</sup>Институт физики микроструктур РАН

## **Формирование топологии многослойных структур для FBAR-компонентов методами химического травления**

*В докладе описывается методика комбинированного жидкостного травления многослойных структур, которое является частью технологического процесса изготовления тонкопленочных СВЧ-резонаторов брегговского типа.*

**Ключевые слова:** акустоэлектроника, СВЧ-резонатор, технология изготовления, фотолитография

Значительный прогресс в исследованиях свойств нитридов элементов III группы вызван, в первую очередь, возможностью их использования в применении к задачам микроэлектроники. Так, нитрид алюминия неизменно вызывает повышенный интерес исследователей. Благодаря ширине запрещенной зоны в 6,2 эВ он является перспективным материалом для изготовления ультрафиолетовых светодиодов и датчиков УФ-излучения. Высокая теплопроводность ( $340 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ) позволяет использовать его как основу для мощных электронных приборов. Кроме того, поликристаллический нитрид алюминия используется в составе различных сенсоров и актюаторов, а также высокочастотных электроакустических устройств, т.к. он обладает пьезоэлектрическими свойствами и высокой скоростью распространения акустических волн. Одной из ключевых проблем при изготовлении подобных устройств является формирование заданного рисунка слоев нитрида алюминия методами фотолитографии. Обычно для этого используют различные модификации метода плазмохимического травления с использованием газообразных фторидов и хлоридов ( $\text{CF}_4$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CF}_3\text{Cl}$ ,  $\text{SF}_6$  и др) в качестве рабочих веществ [1]. Плазмохимическое травление (ПХТ) обеспечивает хорошее аспектное отношение (практически вертикальный профиль стенок при значительной глубине травления). Однако этот метод имеет существенные недостатки – одним из них является малая селективность по отношению к различным классам материалов, обусловленная высокой химической активностью плазмы. Так, различные виды фоторезистов и масок из напыленных слоев металлов и диоксида кремния оказываются недостаточно стойкими, особенно при высокой мощности источника установки ПХТ. Другим недостатком ПХТ является высокая сложность оборудования и, как следствие, значительная стоимость выполнения технологической операции.

Жидкостное химическое травление не требует сложного оборудования и позволяет добиться высокой селективности и приемлемой скорости травления для различных классов материалов. Это достигается выбором состава травителя и условий травления, которое может сопровождаться различными воздействиями – механической активацией (динамическое травление) [2], фотохимической [3] и электрохимической активацией [4].

В настоящей работе выполнено исследование комбинированного жидкостного химического травления многослойных структур, образованных чередующимися слоями AlN, GaN, Mo, SiO<sub>2</sub>. Показана возможность как селективного травления отдельных слоев,

так и травления всех без исключения слоев, составляющих структуру, в травителе одного состава. Полученные результаты подтверждены методом рентгеновской дифракции (Bruker D8 Discover, Cu-K $\alpha$ ).

Эта задача возникла в связи с необходимостью разработки технологии изготовления тонкопленочных акустоэлектронных резонаторов брэгговского типа на основе нитрида алюминия (solidly mounted resonator – bulk acoustic wave, SMR – BAW), конструкция которых предполагает наличие брэгговского отражателя (чередующиеся слои молибдена и диоксида кремния).

Фотография исходной структуры в разрезе (cross-section), полученная с помощью растрового электронного микроскопа, показана на рис.1.

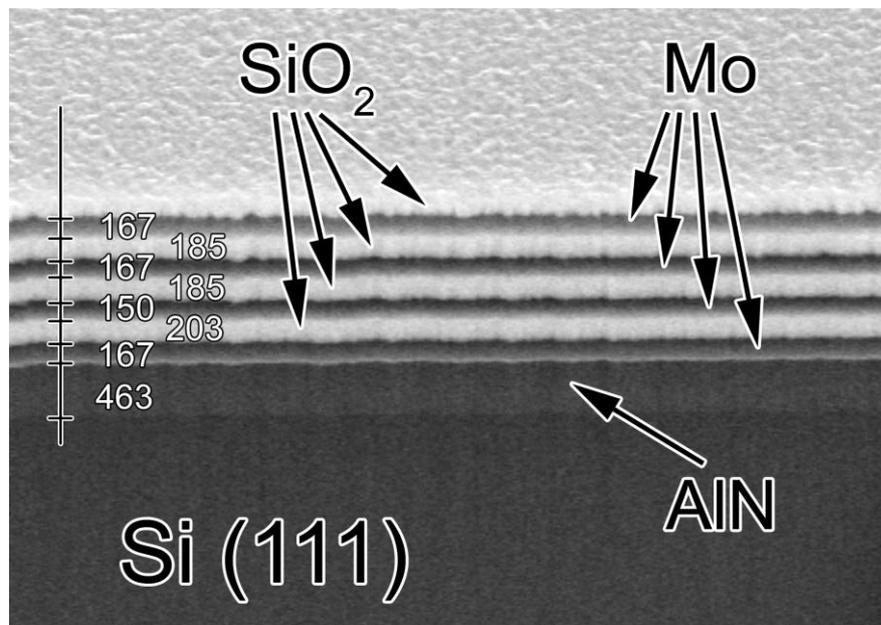


Рисунок 1

На кремниевой пластине (111) методом молекулярно-лучевой эпитаксии получен слой нитрида галлия (0001) толщиной 100 нм (этот слой не виден на микрофотографии, т.к. его контрастность совпадает с контрастностью кремниевой подложки). Назначение подслоя нитрида галлия состоит в согласовании параметров кристаллических решеток для последующего гетероэпитаксиального роста слоя нитрида алюминия (0001) толщиной 463 нм. Затем поверх слоя нитрида алюминия магнетронным напылением был сформирован слой молибдена толщиной 167 нм (нижний электрод) и чередующиеся слои SiO<sub>2</sub>-Mo (слои брэгговского отражателя). Толщины слоев молибдена, составляющих отражатель, находились в диапазоне 150-167 нм.

В качестве образцов была использована кремниевая пластина с нанесенными слоями исходной структуры, нарезанная на квадраты 5x5 мм. На рис.2 приведена дифрактограмма, полученная на таком образце до проведения операций травления.

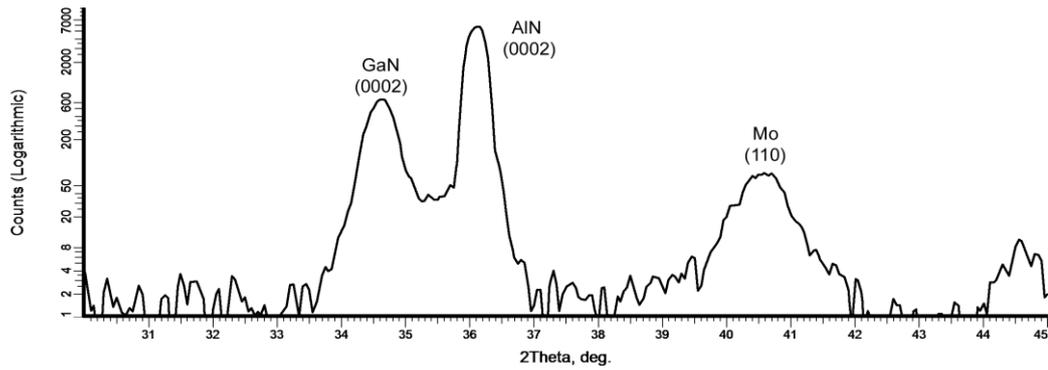


Рисунок 2

На дифрактограмме ясно виден рефлекс, соответствующий фазе молибдена и рефлексы нитридов алюминия и галлия. Исходный образец был помещен в травитель состава  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$  (1:1:1:2) при комнатной температуре. Время травления при интенсивном перемешивании составило 15 секунд. Дифрактограмма полученного образца приведена на рис.3. Отсутствие рефлекса молибдена указывает на полное удаление слоев металла и диоксида кремния с поверхности нитрида алюминия.

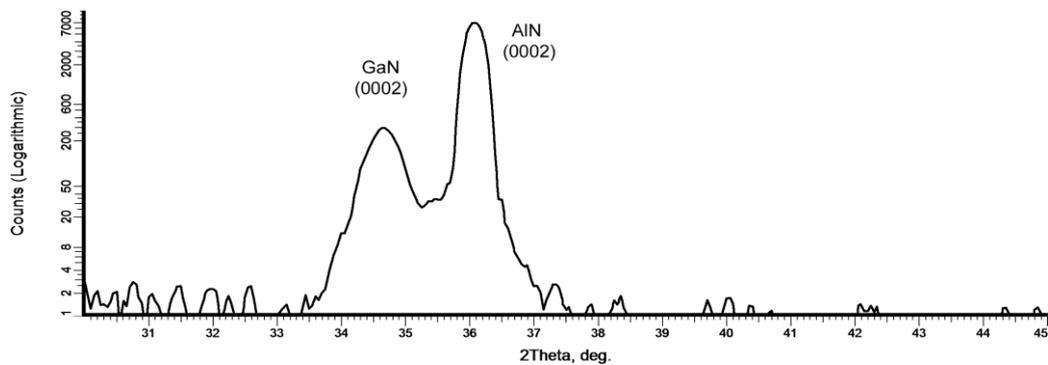


Рисунок 3

Далее этот образец был помещен в травитель состава  $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{HNO}_3:\text{HF}$  (20:4:4:4). Температура травителя -  $80^\circ\text{C}$ , время - 120 с. Дифрактограмма полученного образца приведена на рис.4. Здесь не наблюдается ни одного выраженного рефлекса, что указывает на полное удаление всех слоев с поверхности кремниевой пластины (рефлексы кремния (111) находятся в другой области углов  $2\theta$ ).

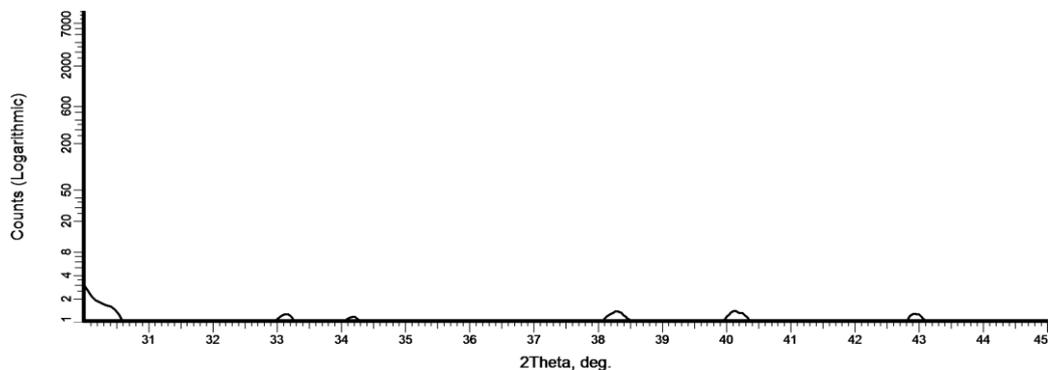


Рисунок 4

Далее мы исследовали возможность постепенного удаления слоев брэгговского отражателя. В данном случае метод рентгеновской дифракции оказывается информативным лишь на завершающих стадиях, так как изменение числа чередующихся слоев молибдена и диоксида кремния при постепенном их удалении не может привести к качественным изменениям данных, полученных на различных образцах. Это означает, что на дифрактограммах всех образцов, содержащих слои Mo и SiO<sub>2</sub>, независимо от количества этих слоев, будут видны рефлексы молибдена. С другой стороны, возможность послойного травления может быть показана на основании наблюдения невооруженным глазом. Критерием начала, окончания и интенсивности процесса здесь может быть выделение газа, хорошо заметное при травлении. В этих экспериментах слои брэгговского отражателя последовательно удалялись в травителях состава HF:H<sub>2</sub>O(2:1) и H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O (1:4:1) с промежуточной промывкой в дистиллированной воде. Первый из указанных травителей селективно действует на слой диоксида кремния, второй - на слой молибдена. Оба травителя использовались при комнатной температуре. По окончании процесса травления (после обнажения слоя нитрида алюминия) были сделаны длительные (по 1,5 часа) выдержки образца в обоих травителях при комнатной температуре. Таким образом выполнялась оценка действия обоих травителей на слой нитрида алюминия (проверка селективности травления по отношению к молибдену и диоксиду кремния). Состояние поверхности слоя нитрида алюминия после длительной выдержки позволило сделать вывод о пренебрежимо малой скорости травления этого слоя в обоих травителях при указанных условиях.

В завершение была выполнена проверка возможности травления всех без исключения слоев структуры в одном и том же травителе (не обладающем селективностью по отношению к материалу какого-либо слоя). Для этого использовалась смесь концентрированных кислот состава HF:HNO<sub>3</sub> (2:1) при комнатной температуре без перемешивания. Результат эксперимента показал, что при этих условиях происходит энергичное травление всех без исключения слоев, включая кремниевую подложку. Процесс сопровождается сильным тепловым эффектом и выделением большого количества бурого газа (диоксид азота).

#### Библиографический список

1. Григорьев Ф.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники (учебное пособие)/ Ф.И. Григорьев // – Москва – 2003. – С.4.
2. Chen Da. The influence of the AlN film texture on the wet chemical etching / Da chen et al // – Microelectronics Journal. – 2009. – Vol 40. – pp. 15-19.
3. Adesida I. et al. // MRS Internet journal of nitride semiconductor research. – 1999. [Электронный ресурс]: <http://www.researchgate.net>
4. Zhuang D. Wet etching of GaN, AlN, and SiC: a review / D. Zhuang, J. H. Edgar // Materials Science & Engineering R-reports - 2005, Vol. 48 - №. 1 - pp. 1-46.