

УДК:539.141;537.868

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ GaAs  
ПОСЛЕ ТРАВЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕ ФРЕОНА R12, МЕТОДОМ АСМ**

**Д.Б. Мурин, А.В. Дунаев\*, С.А. Пивоваренко, Д.А. Алякин**  
НИИ Термодинамики и кинетики химических процессов  
Ивановского государственного химико-технологического университета  
153000 Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7  
E-mail: dunaev-80@mail.ru

**Аннотация**

Было проведено плазменное травление арсенида галлия в фреоне R-12 ВЧ-разряда. Показано, что корректировка параметров, таких как время обработки и смещения потенциала образца определяют качество будущей полупроводниковой структуры. Тем не менее, качества контроля поверхности образцов остается актуальной задачей современной электроники. В этой статье, контроль поверхности образцов проводили с помощью атомно-силового микроскопа Solver - P47Pro.

**Ключевые слова:** травление в плазме, фреон, атомно-силовая микроскопия, плазмохимические процессы, плазмообразующий газ

**Введение**

Очевидно, что технологический процесс производства современной электроники требует размерного структурирования поверхности подложек для получения заданного топологического рельефа высокого разрешения. Решение этой задачи возможно лишь методами плазменного травления.

В данной работе объектом исследования является фреон R-12 –  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ . Фреон R-12 играет важную роль в промышленности плазменного травления [1, 2] так как легко диссоциирует на химически активные атомы Cl и F. Он часто используется для травления Si, Ge и ряда других материалов (GaAs, GaP, InP), обеспечивая технологически приемлемые скорости взаимодействия, а также удовлетворяет требованиям по анизотропии и селективности.

На основании выше изложенного очевидно, фреон R-12 является перспективным плазмообразующим газом и может применяться в технологии микрoeлектроники.

В качестве образца использовался GaAs, который является одним из перспективных материалов электроники будущего и служит основой широкого спектра высокочастотных быстродействующих приборов [2].

При всем вышесказанном остается вопрос о методах контроля поверхности полупроводника после операции травления. С точки зрения исследования рельефа, одной из наиболее перспективных является атомно-силовая микроскопия (АСМ), главными достоинствами

которой являются: возможность получения достоверных данных о высоте микрорельефа, отсутствие дополнительных промежуточных процедур, снижающих достоверность результатов, возможность получения нанометрового разрешения на воздухе и т. д.

Для исследования плазмохимических процессов в условиях ВЧ – разряда использовалась установка “Платран-100ХТ”. Она предназначена для плазмохимического травления полупроводниковых материалов, а также металлических пленок, продукты, реакции которых с плазмообразующими газовыми смесями на основе хлора и фтора образуют летучие соединения.

Установка обеспечивает возможность обработки пластин диаметром до 100 мм, а также меньших размеров толщиной от 0.3 до 2 мм.

Откачка системы производилась механическим пластинчато-роторным (Leybold BCS, производительность 30 м<sup>3</sup>/ч) и турбомолекулярным (TMP 803 LMTC, производительность 800 л/сек) насосами до предельного давления остаточных газов порядка 10<sup>-6</sup> Торр. Контроль рабочего давления в реакторе осуществлялся емкостным датчиком (баратрон) с верхним пределом измерения 0.1 Торр. Измерение и контроль расхода плазмообразующего газа проводились при помощи расходомеров с верхним пределом 500 см<sup>3</sup>/мин.

Система контроля температуры предусматривает возможность автоматической стабилизации температуры подложки за счет ре-

гулирования скорости потока охлаждающей жидкости.

В наших экспериментах вкладываемая в разряд мощность являлась величиной постоянной и составляла 950 Вт, расход плазмообразующего газа 20 см<sup>3</sup>/мин. (~ 1.4 мТор). Время травления изменялось от (30-150 сек) с интервалом 30 с.

Первая партия образцов обрабатывалась в отсутствие потенциала смещения на подложкодержателе, вторая при максимальном смещении 300 В.

Подвергаемые травлению образцы представляли собой фрагменты полированных пластин GaAs (толщина 400 мкм). Контроль рельефа поверхности образцов проводился посредством атомно-силового микроскопа Solver P47-PRO, который позволяет исследовать поверхность образцов на участках размером до 50×50 мкм.

Минимальный шаг сканирования 0.006 нм.

## Результаты и их обсуждение

Как уже отмечалось, в технологии одним из важнейших аспектов травления является показатель качества поверхности после травления. На рис. 1 представлен скан поверхности GaAs до обработки в чистом фреоне. Показатель средней квадратичной шероховатости не травленной пластины составляет ( $\sigma \sim 2$  нм). На рисунке 2 (а, б, в) можно увидеть микрофотографии поверхности образцов подвергнутых травлению в указанном плазмообразующем газе, в зависимости от времени воздействия. Как можно видеть, поверхность образца заметно меняется, тоже можно сказать и про показатель шероховатости,  $\sigma$  меняется от (7-14 нм) при времени обработки (30-150 с). Увеличение величины  $\sigma$  предсказуемо в условиях увеличения времени взаимодействия химически активных частиц плазмы с образцом полупроводника. Такое изменение качества поверхности весьма характерно для галогенсодержащих газов и приемлемо с точки зрения технологии [3, 4].

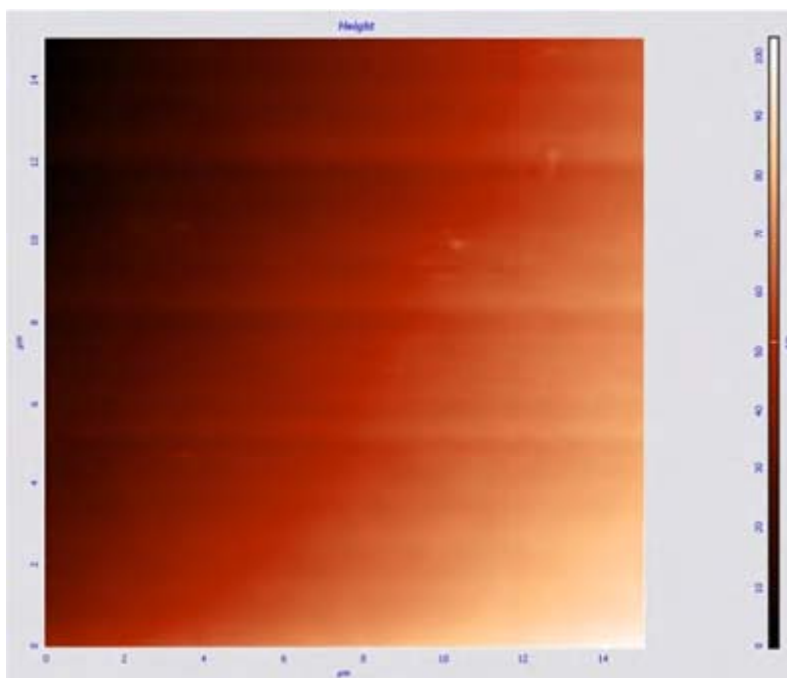
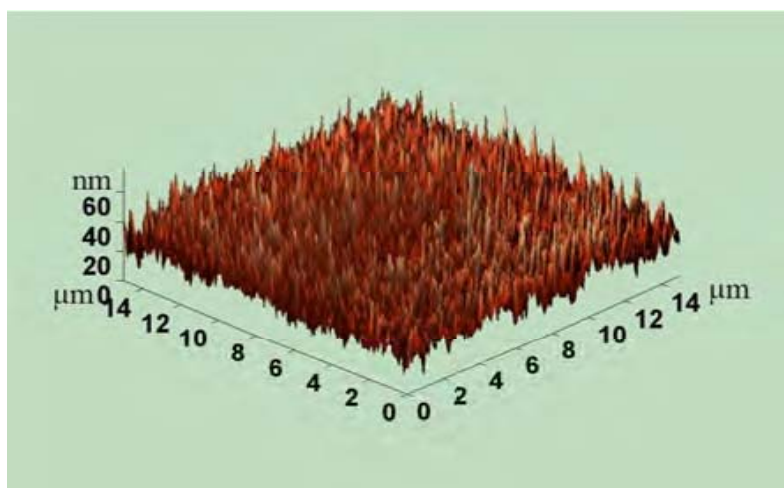


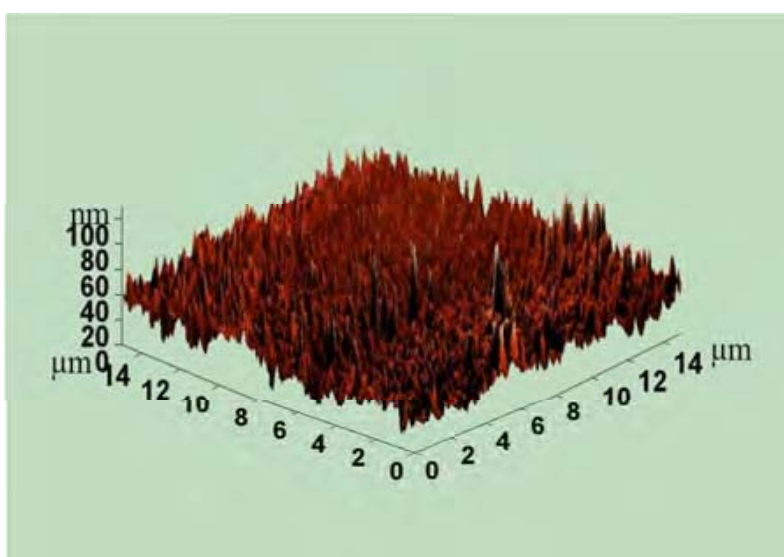
Рис. 1 – Поверхность GaAs до травления в плазме фреона R-12

Перейдем к рассмотрению влияния потенциала подложкодержателя на результирующее качество поверхности арсенида галлия.

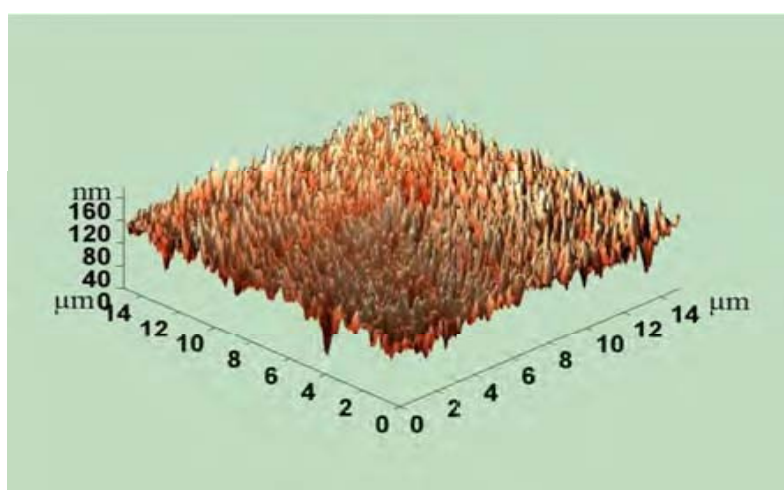
В наших экспериментах мы использовали максимально возможное смещение 300 Ватт.



а)



б)



в)

$W_{rf} = 950$  Вт,  $W_{bias} = 0$  Вт,  $P = 1.4$  мТор.  
При  $\tau_{обр}$ : (а) = 30 с.  $\sigma = 7$  нм, (б) = 90 с.  $\sigma = 11$  нм, (в) = 150 с.  $\sigma = 14$  нм

Рис. 2 – Поверхность GaAs, травленного в плазме фреона R-12

При малых мощностях смещения 0-50 Вт кинетические зависимости не линейны и стремятся к насыщению. По-видимому, при этом энергия ионов не обеспечивает эффективной газификации продуктов травления или разрушения полимерной пленки. Это способствует образованию на поверхности маскирующего слоя, препятствующего доступу химически активных частиц. Лимитирующей стадией процесса здесь предположительно является диффузия атомов хлора к поверхности твердой фазы, либо деструкция маскирующего поверхностного слоя. Качественно аналогичная ситуация имеет место, например, при травлении меди в плазме хлора [5] в диапазоне температур, не обеспечивающих очистку поверхности от продуктов взаимодействия.

Увеличение мощности смещения до 200-300 Вт и сопутствующий этому рост энергии физически активных частиц приводит к росту скоростей ионно-стимулированной десорбции продуктов взаимодействия и деструкции приповерхностных слоев материала, обеспечивающих полную очистку обрабатываемой поверхности.

В связи свыше сказанным, ожидается более высокая скорость травления, чем в чистом фреоне без подачи смещения и вследствие этого большая шероховатость поверхности полупроводника, при тех же временах обработки.

Это видно, на микрофотографиях GaAs рис. 3 (а, б, в). Уже при 30 сек обработки величина  $\sigma$  составляет 20 нм, что почти в 3 раза больше величины шероховатости травления без подачи потенциала на подложкодержатель.

Можно предположить, что при дальнейшем увеличении времени обработки (более 150 сек), скорость спонтанного химического взаимодействия, еще больше возрастет, в результате чего будет фиксироваться крайне грубая поверхность, свойственная обработке в плазме чистого  $\text{Cl}_2$  с явными следами разрушения структуры и переосаждения материала и продуктов взаимодействия на поверхности образца. Это далеко не всегда является приемлемым в технологии современной микро и нанoeлектроники.

Данные по качеству поверхности (шероховатости) арсенида галлия после высокочастотного травления во фреоне R-12, в зависи-

мости от времени, при наличии смещения и при его отсутствии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость шероховатости поверхности ( $\sigma$ ) от времени травления, при отсутствии и наличии потенциала смещения

$W_{\text{rf}} = 950 \text{ Вт},$ $W_{\text{bias}} = 0 \text{ Вт}$		$W_{\text{rf}} = 950 \text{ Вт},$ $W_{\text{bias}} = 300 \text{ Вт}$	
t, с	$\sigma$ , нм	t, с	$\sigma$ , нм
30	7	30	20
90	11	90	28
150	14	150	65

### Заключение

В результате экспериментов можно заключить следующее:

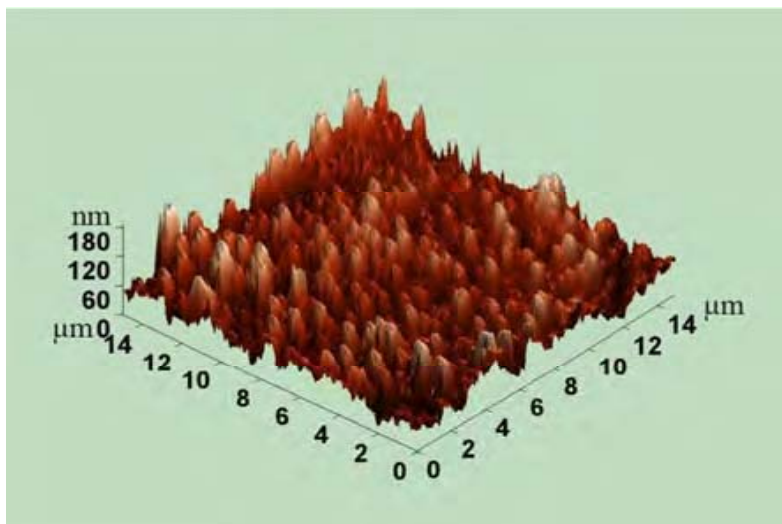
ВЧ разряд, инициированный в газовой среде фреона R-12 можно эффективно использовать для травления полупроводников, в частности, арсенида галлия обеспечивая технологически приемлемые скорости взаимодействия, при этом сохраняя равномерную и чистую поверхность. Регулируя такие параметры как время обработки и мощность потенциала смещения, можно определять качество будущей полупроводниковой структуры.

Таким образом, фреон R-12 является перспективным плазмообразующим газом и может быть использован в технологии микроэлектроники.

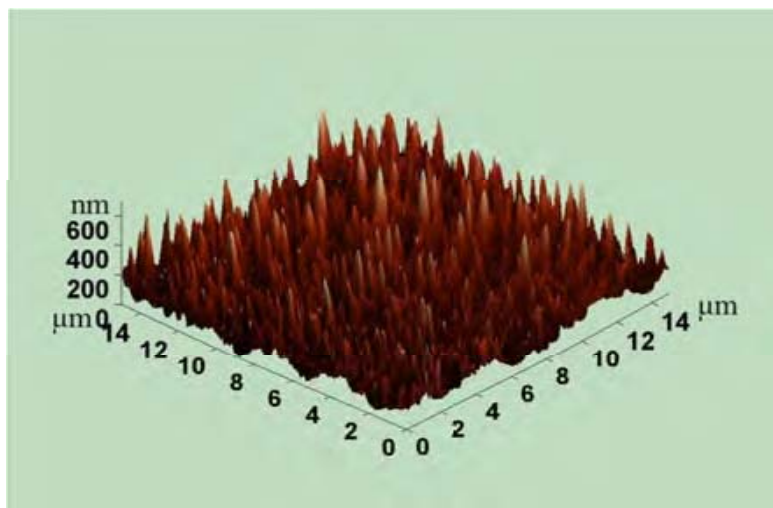
*Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания. Проект № 1800.*

### Литература

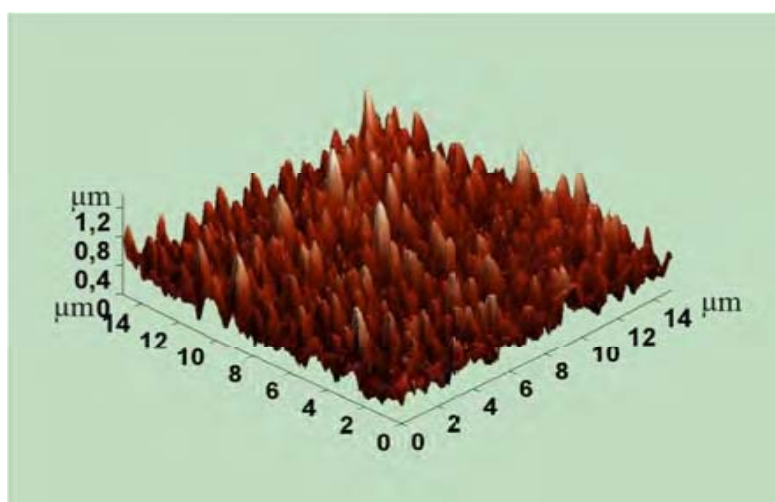
1. Lakdawala V.K., Ko S.T., Albin S. // Bull. Am. Phys. Soc. 1988. V. 33. P.145.
2. В.В. Пасынков, В.С. Сорокин. // Материалы электронной техники: уч. для студ. вузов по спец. электронной техники. / СПб.: Лань, 2001, С. 368.
3. Rawal D. S., Sehgal B. K., Muralidharan R., Malik H. K. // Experimental Study of the Influence of Process Pressure and Gas Composition on GaAs Etching Characteristics in  $\text{Cl}_2/\text{BCl}_3$ -Based Inductively Coupled Plasma. Plasma Science and Technology. 2011. V. 13. № 2. P. 223 – 229.



а)



б)



в)

$W_{rf} = 950$  Вт,  $W_{bias} = 300$  Вт,  $P = 1.4$  мТор.

При  $\tau_{обр}$ : (а) = 30 с.  $\sigma = 20$  нм, (б) = 90 с.  $\sigma = 28$  нм, (в) = 150 с.  $\sigma = 65$  нм

Рис. 3 – Поверхность GaAs, травленного в плазме фреона R-12

4. Дунаев А.В., Пивоваренок С.А., Семенова О.А., Капинос С.П., Ефремов А.М., Светцов В.И. // Кинетика и механизмы плазмохимического травления GaAs в хлоре и хлороводороде. Физика и химия обработки материалов. 2010, № 6, С. 42 – 46.

5. Efremov A.M., Pivovarenok S.A., Svetstov V.I. // Kinetics and Mechanism of Cl<sub>2</sub> or HCl Plasma Etching of Copper. Thin Films. 2007. V.36. №6. P. 358 – 365.

---

## STUDY OF GaAs SURFACE AFTER ETCHING IN PLASMA OF FREON R12 BY AFM

**D.B. Murin, A.V. Dunaev, S.A. Pivovarenok, D.A. Alyakin**

Scientific-Research Institute of Thermodynamics and kinetics of chemical processes  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology  
153000 Ivanovo, av. Ф. Энгельс, 7  
E-mail: dim86@mail.ru, dunaev-80@mail.ru, sap@isuct.ru

### Abstract

Plasma etching of gallium arsenide in RF discharge in freon R-12 was carried out. It is shown that the adjustment of parameters such as the sample's handling time and bias potential determine the quality of the future semiconductor structure. Nevertheless, samples surface quality control remains an urgent task of modern electronics. In this paper, the samples surface control was carried out by atomic force microscope Solver - P47Pro.

**Keywords:** plasma etching, freon, atomic force microscopy, plasma-chemical processes, the plasma gas

---

## БЕТТЕРІНЕ ҚЫЗМЕТ ЗЕРТТЕУЛЕР GaAs ТӘСЛІМЕН АСМ ТРАВЛЕНИЯ КЕЙІН ФРЕОН R12 ПЛАЗМАДА

**Д.Б. Мурин, А.В. Дунаев, С.А. Пивоваренок, Д.А. Алякин**

Химиялық процестер термодинамикасы мен кинетикасын ғылыми-зерттеу институты  
Химия және технология Иваново мемлекеттік университеті  
153000 Иваново, Ф. Энгельс даңғылы, 7  
E-mail: dim86@mail.ru, dunaev-80@mail.ru, sap@isuct.ru

### Аннотация

ЖР-разрядты R-12 фреонда галлий арсенидін плазмалық өңдеуі жүргізілді. Жартылай өткізгіш құрылымының сапасын анықтайтын үлгі потенциалының ауытқуын және өңдеу уақытына байланысты реттеу параметрлері көрсетілді. Соған қарамастан беттік қабаттың сапа бақылауы заманауи электроника үшін өзекті мәселе болып табылады. Осы мақалада үлгілердің беттік қабатының бақылауы Solver - P47Pro атомдық күштік микроскоптың көмегімен жүргізілді.

**Түйінді сөздер:** плазмалық ою, фреон, атом күштік микроскопия, плазмалық-химиялық процестер, газ плазма