

## ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ $\text{WF}_3$ В УСТАНОВКЕ ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННОГО ИМПЛАНТЕРА

А.П. Ершов\*, А.А. Орликовский, К.В. Руденко, Я.Н. Суханов

Физико-технологический институт РАН, 117218, г. Москва, Нахимовский просп., 34.

*yakov@ftian.oivta.ru*

\*Физический факультет МГУ им М.В.Ломоносова,  
119899, Москва, Воробьевы горы, ул.Лебедева, 1

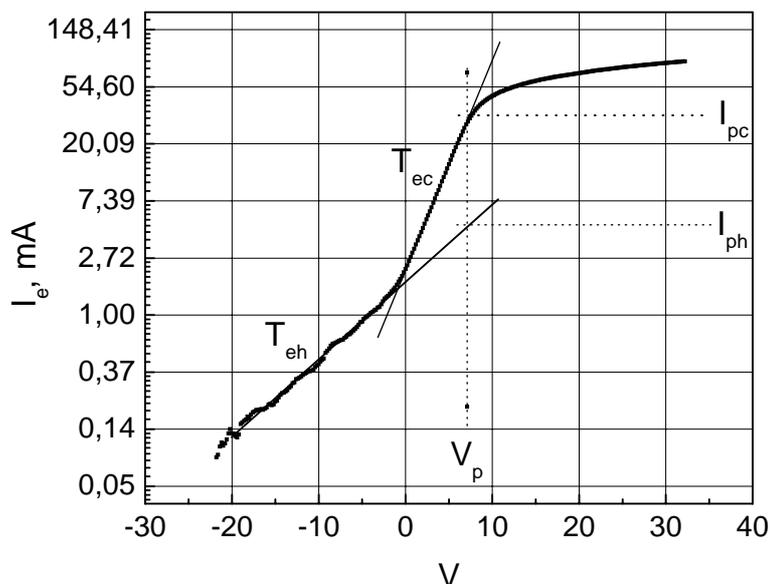
Диагностика плазмы является необходимым этапом при развитии и оптимизации плазменных технологий производства полупроводниковых структур. Создание передовых инструментов плазменного травления и модернизация технологии требуют использования всего набора средств диагностики плазмы. Только имея возможность измерения всех фундаментальных плазменных параметров можно достичь необходимого понимания того, как наиболее оптимально проводить модернизацию оборудования.

В данной работе проведено исследование параметров плазмы  $\text{WF}_3$  методом зонда Ленгмюра. Метод электростатических зондов по-прежнему остаётся в ряду важнейших методов исследования плазмы благодаря большому числу одновременно измеряемых параметров и локальности измеряемых характеристик, что существенно при измерении пространственного распределения параметров плазмы в реакторе.

Следует отметить, что к настоящему моменту систематических исследований низкотемпературной плазмы этого газа не проводилось. Нами впервые были впервые определены концентрация и температура электронов, концентрация положительных ионов, степень электроотрицательности, функция распределения электронов по энергиям плазмы СВЧ-разряда  $\text{WF}_3$ . Построено пространственное распределение всех вышеперечисленных параметров в широком диапазоне давлений (1.3 – 19.6 мТорр) и вкладываемых мощностей (550-1400Вт). Параметры плазмы исследовались в установке широкопертурного плазменно-иммерсионного имплантера.

Для проведения исследований разработан универсальный комплекс зондовой диагностики плазмы на основе модульной измерительной системы САМАС под управлением персонального компьютера. Проведение зондовых измерений в плазме потребовало разработки специализированных модулей в стандарте САМАС. Блок алгоритмов регистрации ВАХ дает возможность реализовать различные временные диаграммы подачи потенциала смещения на зонд и измерения зондового тока. Режим очистки поверхности зонда от загрязнений и возможных полимерных пленок, осаждающихся из плазмы, позволяет поддерживать поверхностные свойства зонда в неизменном виде путем подачи потенциала смещения, устанавливающего зонд в режим ионной бомбардировки поверхности. Измерительный усилитель включает в себя входные фильтры, эффективно подавляющие ВЧ и СВЧ наводки в диапазоне свыше 100кГц.

На рис.1 в полулогарифмическом масштабе представлена характерная зависимость электронного тока, собираемого зондом, от приложенного потенциала, снятая в рабочей области плазмы на расстоянии 15 мм. от рабочего стола. Из вида характеристики разумно предположить, что функция распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) представляет собой сумму двух максвелловских распределений (бимакселловское распределение). Возможность подобного представления неоднократно верифицировалась при изучении плазмы низкого давления [1, 2]. Обе электронные группы обладают различными свойствами, каждая из них играет в разряде свою важную роль. Одна группа электронов с температурой  $T_{eh}$  - это быстрые (горячие) электроны, благодаря которым поддерживается должный уровень ионизации. Другая группа электронов – это медленные (холодные) электроны с температурой  $T_{ec}$ . Электронная температура определялась по наклону графика  $i_e(V)$ , построенного в полулогарифмическом масштабе.

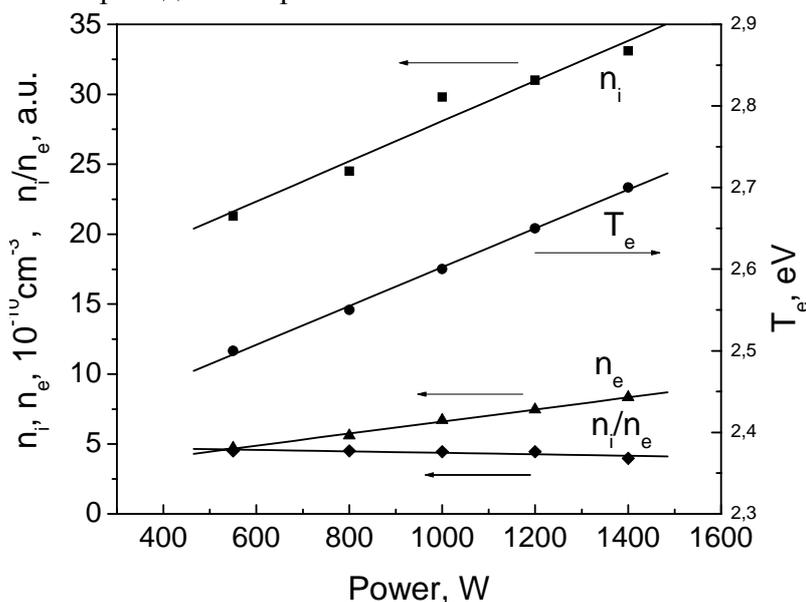


**Рис. 1.** Электронный зондовый ток в плазме  $\text{BF}_3$ , рабочее давление в камере имплантера 1.3 мТорр,  $V_p$  – потенциал пространства,  $I_{pc}$  и  $I_{ph}$  – электронные токи насыщения, соответствующие обеим электронным группам.

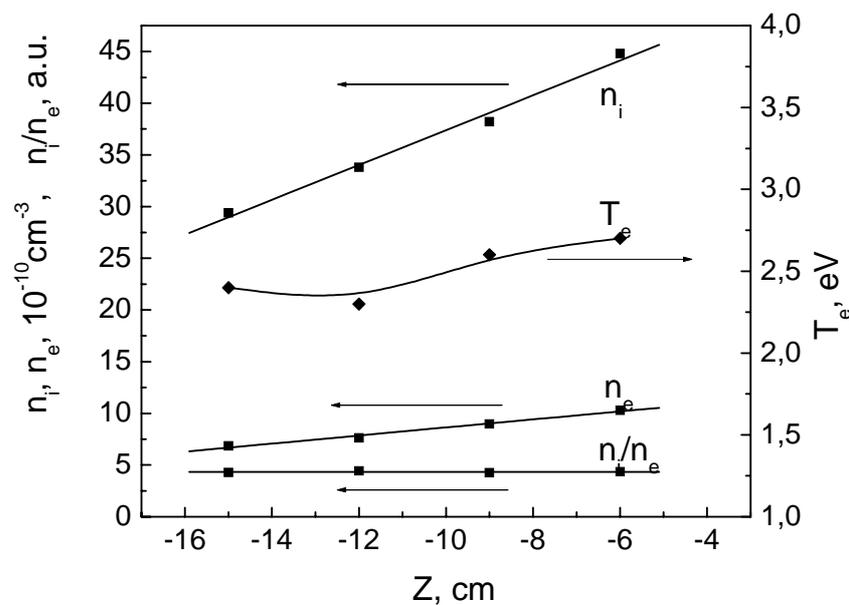
Для определения плотности положительных ионов  $n_i$  мы воспользовались теорией Лафрамбуаза [3], адекватно отвечающей условиям эксперимента. В наших экспериментах выполняются все предположения этой теории: (а) слой достаточно тонкий и бесстолкновительный,  $\lambda_i \gg s_{cl}$ ,  $\frac{\lambda_i}{s_{cl}} \sim 10^2$  (б) отношение радиуса зонда к дебаевскому

радиусу  $\xi = \frac{a}{r_D} \sim 10^1 \gg 1$ , (в) магнитное поле не влияет на ионный ток насыщения. Были

получены значения  $T_{ec}$  в диапазоне 0.6–2.7эВ,  $n_i \approx (1.7-4) \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$ ,  $n_e \approx (3.4-9.6) \times 10^{10} \text{ см}^{-3}$ ; построены радиальные и продольные распределения  $T_e$ ,  $n_i$ ,  $n_e$ , ФРЭЭ в указанном выше диапазоне внешних параметров разряда. Функциональные зависимости параметров плазмы от условий разряда в камере плазменно-иммерсионного имплантера частично приведены на рис.2 и 3.



**Рис. 2.** Зависимость концентрации ионов  $n_i$ , электронов  $n_e$  и электронной температуры  $T_e$  в плазме  $\text{BF}_3$  от вкладываемой мощности,  $p=1.3$  мТорр.



**Рис. 3.** Продольное распределение  $n_e$ ,  $n_i$ ,  $T_e$  в плазме  $\text{BF}_3$  в камере плазменно-иммерсионного имплантера,  $p=1.3$  мТорр,  $P=1000$  Вт.

Полученные результаты имеют особую ценность. В иммерсионном режиме имплантации из плазмы молекулярных газов без сепарации ионов по массам конечный результат определяется ионным составом. В плазме  $\text{BF}_3$  наряду с ионами (преимущественно  $\text{BF}_2^+$ ) содержатся и химически активные радикалы  $\text{F}^*$ , потенциально способные инициировать побочное (для процесса имплантации) травление поверхности кремния. Управление соотношением ионов и радикалов через ФРЭЭ плазмы может оказаться, на наш взгляд, важнейшим методом контроля процесса плазменно-иммерсионной имплантации. В частности, как видно из бимаксвелловского распределения на рис. 1, значительное количество горячих электронов с энергиями выше порога диссоциативной ионизации  $\text{BF}_3$  (15.95 эВ) и обеспечивает высокую степень ионизации (до  $n_i = 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$  при давлении 1,3 мТорр) для такого существенно электроотрицательного газа, повышая соотношение ионы / радикалы в плазме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lagarde T., Arnal Y., Lacoste A., Pelletier J. // *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2001, V10, p. 181.
2. Samukawa S., Donnelly V.M., Malyshev M.V. // *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2000, V. 39, p. 1583.
3. Демидов В.И., Колоколов Н.Б., Кудрявцев А.А. *Зондовые методы исследования низкотемпературной плазмы.* Москва Энергоатомиздат, 1995.