

УДК 621.039

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ НЕЙТРАЛОВ
ПЕРЕЗАРЯДКИ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ
ЭПИТАКСИИ CERA-VN**

О. А. Бабич, А. А. Балмашнов

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

E-mail: abalmashnov@mx.pfu.edu.ru

Дано краткое описание микроволнового источника потока нейтральных частиц CERA-VN. На основе полученных результатов сделан вывод о влиянии упругих столкновений в камере перезарядки на интенсивность и пространственную расходимость формируемого потока.

Микроволновый резонаторный источник потока диссоциированных молекул с варьируемой энергией частиц CERA-VN был разработан применительно к про-

цессу молекулярно-пучковой эпитаксии в 1995 г. [1] на базе источника плазмы с варьлируемой энергией ионной компоненты CERA-V [2].

Принцип действия источника CERA-V основан на создании в плазменном потоке с продольным градиентом концентрации частиц узкого слоя с квазистационарным отрицательным потенциалом путем организации синфазных электронных плазменных колебаний E_{010} -модой, возбуждаемой в двухмодовом резонаторе (TE_{111} , E_{010}) на частоте $f = \omega/2\pi = 2,45$ ГГц магнетронным генератором (M105) мощностью до 800 Вт, работающим в непрерывном режиме. Возбуждение резонатора осуществлялось петлевой антенной, ориентация которой определяла распределение высокочастотной мощности между TE_{111} и E_{010} -модами. Резонатор помещен в продольное стационарное пространство неоднородное магнитное поле, создаваемое электромагнитом. Разрядная камера из кварцевого стекла диаметром 6 см располагается аксиально резонатору. Откачка вакуумной системы осуществлялась диффузионным насосом производительностью $2 \cdot 10^5$ см³/с.

Для создания потока нейтральных частиц CERA-V был дополнен камерой с избыточным давлением молекул (атомов) рабочего газа, находящейся в плотном контакте с разрядной камерой и имеющей электрический контакт с корпусом установки. Камера перезарядки имела цилиндрическую форму (диаметр 8 см, высота $L = 3,5$ см) и была изготовлена из слабомагнитной нержавеющей стали. В дне камеры выполнено отверстие, диаметр которого может варьироваться, но не превышать 3,5 см. Температура камеры регистрировалась термодатчиком.

Напуск рабочего газа осуществлялся либо непосредственно в камеру перезарядки (аргон), либо в область торца разрядной камеры, находящегося вблизи сердечника электромагнита (водород, азот). В первом случае избыточное давление в камере перезарядки определялось как способом ввода рабочего газа, так и потоком ионов, рекомбинирующих на ее поверхности. Во втором случае в камере перезарядки создавалось избыточное давление газа, состоящего из атомов (за счет процесса рекомбинации) и колебательно-возбужденных молекул, поступающих непосредственно из разрядной камеры.

Для диагностики параметров плазмы использовались ленгмюровский зонд и электростатический анализатор с углом поворота $\pi/2$.

Диагностика потока нейтральных частиц осуществлялась следующим образом. На пути из камеры перезарядки были установлены диафрагма диаметром 1 см и магнитный фильтр, отсекающий заряженные частицы. За магнитным экраном с отверстием диаметром 0,5 см располагалась пушка, создающая электронный поток, перпендикулярный потоку нейтралов и ионизирующий их. Диагностика созданного потока ионов производилась электростатическим анализатором. Эффективность перезарядки оценивалась по ионному току, регистрируемому при отсутствии и наличии камеры перезарядки в условиях сохранения в разрядной камере одинакового давления рабочего газа.

Для различных геометрий камеры перезарядки (различные диаметры выходных отверстий) были получены зависимости интенсивности потока нейтралов (рабочий газ: водород, азот, аргон) от условий СВЧ-разряда (давление рабочего газа) и установлено хорошее соответствие расчетных величин с наблюдаемыми.

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности потоков атомов перезарядки аргона от давления p в камере откачки системы для различных площадей сечений S выходных отверстий камеры перезарядки. На рис. 2 изображены те

же экспериментальные результаты, но в зависимости от давления в разрядной камере p_p .

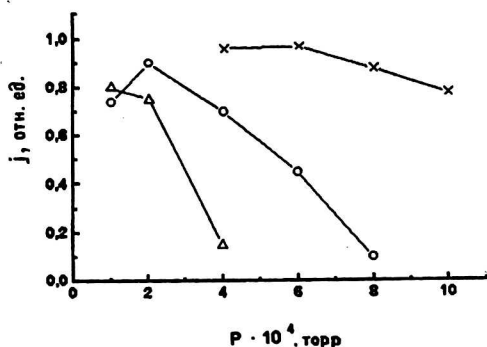


Рис. 1. Зависимость интенсивности потока атомов аргона J от давления в камере откачки p для различных площадей сечений отверстий в камере перезарядки: Δ — 5 cm^2 ; \circ — 10 cm^2 ; \times — 50 cm^2

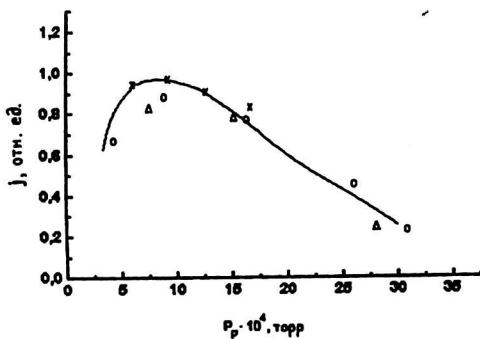


Рис. 2. Зависимость интенсивности потока атомов аргона J от давления в разрядной камере p_p для различных площадей сечений отверстий в камере перезарядки: Δ — 5 cm^2 ; \circ — 10 cm^2 ; \times — 50 cm^2

Кривая, представленная на рис. 2, рассчитана по формуле

$$J = J_j(p_p) [1 - \exp(-\ln \sigma_p)] \exp(-\ln \sigma_{tr}),$$

где σ_p , σ_{tr} — сечения резонансной перезарядки и транспортное сечение ионов аргона;

n — концентрация частиц в камере перезарядки;

$J_j(p_p)$ — экспериментальная зависимость плотности ионного тока от давления в разрядной камере.

Расчет величин p_p и n осуществляли на основе баланса потоков частиц с учетом температур камер и производительности вакуумного насоса.

Рост расхождения результатов экспериментов и расчетной кривой по мере уменьшения площади сечения выходного отверстия камеры перезарядки может быть объяснено тем, что в расчетной формуле не учтены упругие столкновения нейтралов перезарядки с атомами рабочего газа в области камеры перезарядки, процесса, ведущего к рассеянию их потока и к снижению их интенсивности. Эффективность перезарядки в условиях проводимых экспериментов не превышала 30 %.

Хорошее соответствие расчетной кривой экспериментальным результатам позволило провести расчет эффективности формирования потоков нейтралов перезарядки в зависимости от скорости откачки вакуумной системы для различных сечений формируемых потоков, который показал, что для аргона уже при скорости откачки системы $5 \cdot 10^5 \text{ cm}^3/\text{с}$ и использовании дополнительной диафрагмы в области соединения разрядной камеры с камерой перезарядки эффективность перезарядки может достичь 50 %.

Работы по определению радиального распределения потока нейтральных частиц перезарядки, формируемого в CERA-VN, были вызваны необходимостью привязки разработанной установки к промышленным системам. Были проведены измерения радиальных распределений интенсивности потока ускоренных ионов в

условиях отсутствия камеры перезарядки и интенсивности потока нейтралов перезарядки для различных режимов СВЧ-разряда и установлено (рис. 3), что радиальная расходимость потока нейтральных частиц выше, чем у исходного потока ионов.

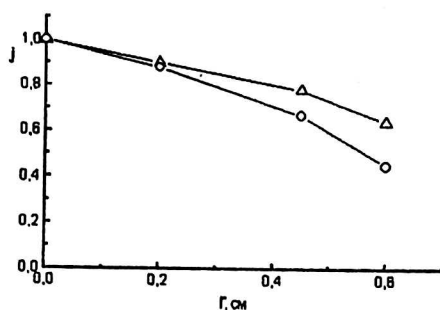


Рис. 3. Радиальное распределение интенсивности потока ионов (о) и нейтралов перезарядки (Δ) для $S = 5 \text{ см}^2$, $p_p = 2 \cdot 10^{-4} \text{ торр}$

Сравнение полученных результатов с расчетными показало, что причиной такого уширения являются упругие столкновения ускоренных частиц с молекулами (атомами) газа в камере перезарядки.

Литература

1. Балмашнов А. А.: Труды конф. ПФФ-96. — Саратов, 1996. С. 90.
2. Balmashnov A. A. //JVST, 1996. V. 14. P. 471.

SPACE DISTRIBUTION OF RECHARGE NEUTRAL PARTICLE FLOW IN THE CERA-VN DEVICE FOR MOLECULAR-BEAM EPITAXY

O. A. Babich, A. A. Balmashnov

Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia
E-mail: abalmashnov@mx.pfu.edu.ru

A short description of the microwave neutral particle flow source CERA-VN is done. Based on the experimental results the conclusion about the possibility of elastic collisions in the recharge chamber strong influence on the intensity and space divergence of created flow is made.