

### 1. Abstract

In this work was investigated the influence of the shape of the gas flow in the RIE chamber on the etch rate and etch homogeneity. CFD (Computation Fluid Dynamics) methods was used to simulate the gas flow in the chamber construction changes were made to find out how the geometry of the diffuser influences the etch rate and the etch homogeneity. The experimental part of the work was carried out on RIE system STS 320 PC in TU - Ilmenau. The results of the simulation were compared to these of the experiment.

### 2. Увод

Реактивното йонно ецване RIE е широко разпространен метод в микроелектронната технология. Този метод е базиран на двойно химическо и физическо ецване на материала. Химическата част на ецването е базирана върху химическата активност на материалите в камерата. Физическата част е базирана върху разпрашването на ецвания материал с частици с висока енергия. Хомогенността на процеса на ецване е много важна. За да се постигнат повтарящи се резултати в микроелектрониката, за получаване на идеална еднородност ние изследвахме газовия поток използвайки софтуера за флуидна симулация „Leap“. Направени бяха три типа дифузери, за да се проверят резултатите от симулацията и бе направен опит да се обяснят получените резултати. Изчислението на еднородността бе направено по формулата:

$$U = (R_{\max} - R_{\min}) / 2 \cdot R_{AV}$$

### 3. Експериментални резултати и процедури

Използваният софтуер е програмата "Leap" създадена от корпорация "Invent". Този софтуер е базиран върху един от CFD методите, наречен VFM (Finite Volume method). Той е един от базовите CFD методи.

Първата стъпка на този метод е да се раздели полето на потока на краен брой от подобласти. Идеята, стояща зад приближението с крайни обеми е да се приложи уравнението за непрекъснатост и закона за запазване на момента към всеки от тези малки, но крайни обеми в потока на полето. Разгледани бяха само потоци с константни свойства и обичайни разтвори

от гледна точка на простите променливи ( $u$ ,  $v$ ,  $p$ ). Където  $u$  е аксиалната скорост,  $v$  е радиалната и  $p$  е налягането. Изчисляване на газовия поток и метода за решаване са напълно обяснени в [1]. Ефектът от натоварените частици върху потока от неутрални частици не е изчисляван, тъй като в микромеханиката се допуска само разряд на слабо йонизирани газове в ред от  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$ .

Бяха конструирани и изследвани три типа дифузери, показани на фиг.1 до 3. Първият тип е наречен Вариант 1 и 2. Те дават максимална радиална скорост на газа, допускащ дифузера. Доколкото дифузер 1 се отличава от дифузер 2 само по броя на изходите, няма начин да се направи разлика между симулациите.

Вариант 3 е името на дифузера, който дава максимална аксиална скорост на газа в камерата.

Вариант 4 е името на дифузера, който дава ненулева аксиална и радиална скорост на газа.

Тъй като софтуера "Leap" има малък брой графични средства, бе невъзможно да се повторят реалните размери на камерата и да се спазят реалните пропорции. Затова резултатите показват само тенденции, а не реален поток.

Експериментите бяха проведени с RIE камера от система STS 320 PC. Направени бяха експерименти само за две стойности на напрежението и бе изследвано влиянието на дълбочината на структурата чрез лазерно измерване. Изследвана бе формация от черен силиций. Всички експерименти бяха направени в плазма  $SF_6/O_2$ .

Резултатите от симулацията са показани в приложението.

#### 4. Експериментални резултати

Таблица 1 показва резултатите от хомогенността за налягане от 54mTorr. Таблица 2 показва резултатите за налягане 48mTorr.

Таблица 1

Дифузер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Еднородност	0,89	0,94	0,93	0,95

Таблица 2

Дифузер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Еднородност	0,85	0,84	0,92	0,94

Таблица 3

Дифузер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Еднородност	1,2	1,21	1,18	1,16

Таблица 4

Дифузер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Еднородност	1,18	1,17	1,16	1,0

Профилът на един от ецваните субстрати е показан на фиг.4. По ос X е дадено разстоянието в mm от центъра на субстрата до ръба. По ос Y е показват степента на ецване [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ].

Таблица 3 и 4 показват средната степен на ецване на 10 точки, изчислена по формулата:

$$R = \Sigma R_i$$

където  $R_i$  е степента на ецване за 10 точки, както е показано на фиг.4.

### 5.Заклучение

Може да се каже, че дифузери Вариант 1 и 2 има голяма турбуленция в целия субстрат. От динамиката на флуидите е известно, че когато една частица попадне в турбуленция теоретично тя няма възможност да я напусне, но ще остане достатъчно дълго в региона на плазма, което означава по-добро превръщане на  $\text{SF}_6$  и  $\text{F}_x$ . Това означава по-добра концентрация на  $\text{F}^*$  и следователно степен на ецване. Това може да се види от резултатите, постигнати с дифузери 1 и 2. Когато се използват Вариант 2 и 3 може да се види, че за потока в ецвания субстрат с повишаване на слоевете, времето за проникване на  $\text{SF}_6$  в камерата е по-кратко. При високо налягане степента на ецване е също висока, вследствие на по-високия брой активни частици в камерата. Също така високото налягане означава, че енергията на електроните удрящи  $\text{SF}_x$  е по-ниска и няма голям градиент на концентрацията на F атоми през катода и радиалната дифузия ще може да облекчи този градиент и хомогенността, когато се използва високо налягане е най-добра. Високият градиент на F атоми е може би причината за по-добра еднородност при използване на дифузери Вариант 1 и 2.

### Благодарности

Този експеримент бе осъществен в катедрата по микроелектроника на ТУ - Илменау с голямата помощ на Prof.H. Wurmus, dr.N.Schwesinger, dipl.eng.T.Sandig и dr.Resek.

### Литература

[1] Gernard, Philip M., Fundamental of fluids mechanics, Addison - Wesely Publishing Company, p.368;

[2] Lui, Jorne, Plasma Etching of silikon in SF<sub>6</sub>, J.Electrochem., Soc., Vol.137, N11, Nov.1990;

[3] Kapalidis, Jorne, Modelling and Experimental Studding of a Reactive Ion Etched Using SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> Chemistry, Electrochem., Soc., Vol.140, N10, Oct.1990.

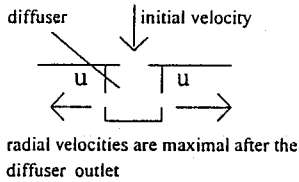
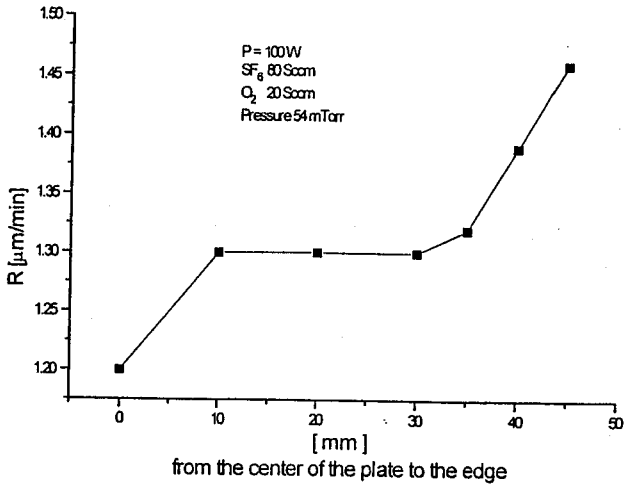


Fig. 1

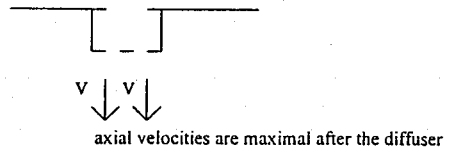


Fig. 2

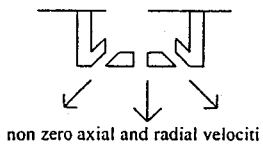
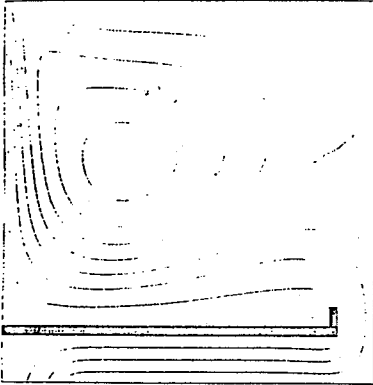


Fig. 3

INVENT  
Computing  
LOUÏRE (C)

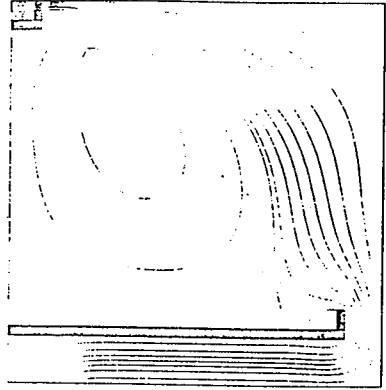
INVENT  
Computing  
LOUÏRE (C)



No Diffuser ( $V=0.1\text{m/s}$ )

y  
x

Time: 0.1  
30 x 40 CV's  
LEARN-5



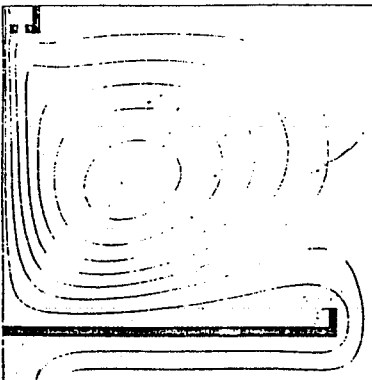
Diffuser 1 and 2 ( $V=0.1\text{m/s}$ )

y  
x

Time: 0.1  
30 x 40 CV's  
LEARN-5

INVENT  
Computing  
LOUÏRE (C)

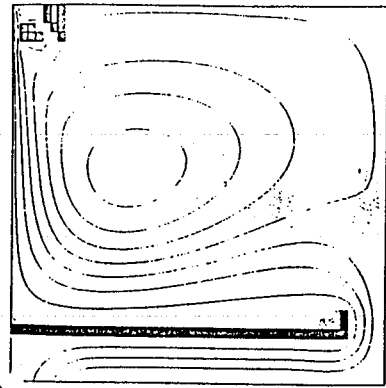
INVENT  
Computing  
LOUÏRE (C)



Diffuser 3 ( $V=0.1\text{m/s}$ )

y  
x

Time: 0.1  
30 x 40 CV's  
LEARN-5



Diffuser 4 ( $V=0.1\text{m/s}$ )

y  
x

Time: 0.1  
30 x 40 CV's  
LEARN-5