

碩士學位論文

ICP-CVD 방법에 의한 FAC 박막의 형성과 특성에 관한 연구



梁 昶 實

110.427

2000年 12月

ICP-CVD 방법에 의한 FAC 박막의 형성과 특성에 관한 연구

指導教授 崔 致 圭

梁 昶 實

이 論文을 物理學 碩士學位 論文으로 提出함



2000 年 12月
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

梁昶實의 物理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

濟州大學校 大學院

2000 年 12月

A Study Formation and Characteristics of FAC Thin
Film by ICP-CVD

Chang-Sil Yang
(Supervised by Propessor Chi-kyu Choi)

 제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Natural Science

2000. 12.

This thesis has been examined and approved.

Department of Physics
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

SUMMARY	I
I. 서론	1
II. 이론	3
1. 절연막의 전기적 특성에 관한 이론	3
2. 플라즈마 형성에 따른 matching network	8
III. 실험 및 방법	11
1. ICPCVD 장치 구성	11
2. ICPCVD 플라즈마의 특성	13
1) Ar-플라즈마의 특성	13
2) 이온에너지 분포와 종들의 비	19
3) CF ₄ /CH ₄ 유량비에 따른 플라즈마 특성	24
3. ICPCVD 방법에 의한 박막 형성	27
4. 증착된 박막의 특성 분석 방법	27
IV. 결과 및 고찰	31
1) FAC 박막의 bonding mode	31
2) FAC 박막의 결합상태 및 조성비 분석	34
3) FAC 박막의 전기적 특성	37
V. 결론	41
VI. 참고문헌	42

SUMMARY

For the reduction of the delay time of ultralarge scale intergrated(ULSI) circuits caused by the parasitic capacitance of multilevel interconnections, it is attractive to use low dielectric constant(low-k) materials as intermetal dielectric(IMD). Low-k(<2.5) materials will replace silicon dioxide($k=4.0$) as the intermetal dielectrics in multilevel interconnect scheme starting around year 2001, reducing substantially the interconnect RC delay in ULSI circuits.

We proposed Fluorinated Amorphous Carbon(FAC) films as new IMD materials. Fluorinated Amorphous Carbon film has a cross-linked structure and C-F bonds.

Recently, the concept of a plasma processing apparatus with high density plasma(HDP) at low pressure and temperature has received much attention for development technology of IMD materials with submicron devices. Among the HDPCVD method, Inductively Coupled Plasma(ICP) CVD has potentially attractive feature in plasma application because of an efficient high density plasma at low pressure and temperature production compares with other conventional type plasma source.

Fluorinated Amorphous carbon(FAC) films was fabricated using the ICPCVD method. The properties of deposited films such as bonding mode, binding energy, dielectric constant, dielectric breakdown voltage, leakage current and uniformity weaw measured as function of the CF_4/CH_4 gas flow rate ratio, and the reliance of two films were investigated by annealing effect. From these results, the best formation conditions of FAC films was investigated.

I. 서론

ULSI(Ultra-Llarge Scale Intergrated) 소자의 미세화, 고집적화 및 고속화 요구에 대응하기 위하여 다층 배선 기술에 대한 새로운 기술이 요구되고 있다. 다층 배선 기술 중에서도 층간 절연 막의 재료와 그 형성 기술이 소자의 특성을 향상 시켜주는 중요한 요소로 지적되고 있다(Homma 등 1993, Ting 등 1995). 현재 사용되고 있는 SiO_2 박막은 평탄화 특성은 우수하지만 단차 피복성이 나쁜 단점과 불순물 잔류와 큰 유전 상수로 인해서 고밀도, 고집적 고속 소자의 층간 절연박막으로 사용하는데 어려움이 있다. 그리고 배선 폭의 미세화에 따라 배선 간격에 절연 물질을 완전하게 매설하는 것이 곤란한 실정이다(Choi 등 1995). $0.18\mu\text{m}$ 급 이상의 소자 개발에서, 층간 절연막으로 저 유전물질을 사용하지 않으면 배선간의 기생 정전용량이 배선사이에 발생하게 된다. 이 기생 정전용량에 의하여 RC 시간 지연과 사용 전력량의 증가 그리고, 상호간섭에 의한 잡음등이 일어나 소자의 고속화에 장애 요인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 저 유전물질 개발과 고밀도 패턴상에서 균일한 평탄화 박막을 형성하는 공정이 요구되고있다(Kim 등 1997, Singer 1996)

그동안 $0.18\mu\text{m}$ 급 소자에 적용하기 위한 저유전을 박막은 FTES/ H_2O -LPCVD법, TEOS/ O_2 / C_3F_6 또는 SiF_4 / O_2 -ECRCVD법, SiF_4 / O_2 -Helicon Plasma CVD법 등에 의해 SiOF 박막에 대한 연구가 이루어졌다(Choi 등 1995). 이러한 SiOF 박막은 O의 원자보다 높은 전기음성도(4.2)와 낮은 분극률(0.557)을 갖는 F의 원자가 SiO_2 에 첨가된 물질로서 높은 분극성을 갖는 Si-OH 결합을 감소시켜주고, 이로인해 낮은 유전상수를 갖는다. 현재까지 보고된 SiOF 박막의 유전상수 값은 3.0으로 보고되고 있다(Kim 등 1997). 그러나 SiOF 박막은 열처리에 의한 F의 확산에 따라 유전상수가 증가되고, HF 발생으로 인한 식각의 문제로 인하여 박막의 신뢰성이 낮아지고 있다.

반면, 불소화 무기물질은 유전상수 값이 2.5~3.3 정도로 작고, 수분흡수율(0.05~1.9%)이 낮다. 탄소계열에서 불소화합물인 경우에는 PTFE(Polytetrafluoroethylene)

구조로 박막이 형성된다. PTFE 구조는 저 유전상수값을 가지면서 우수한 절연막의 특성을 가지고 있으나 낮은 접착성(adhesion), 과 열적 불안정성(thermal unstability), 그리고 공정에 많은 문제점이 대두되고 있다(Crudem 등 1999). 그러나 고밀도 플라즈마 CVD 방법에 의하여 형성된 FAC 박막은 PTFE 구조를 갖는 polymer와 다른 특성을 갖는 것으로 보고되어 기존에 적용되고 있는 실리콘 산화막을 대체할 층간 절연막으로 주목 받고 있다(Choi 등 1995). 왜냐 하면 불소화 무기 물질 중 FAC 박막은 유전율이 2.0~2.5 정도로 매우 작고, 화학적, 구조적으로 안정성이 높다. FAC 박막의 열적 불안정성을 해결하기 위한 최적의 공정장비는 ICP(Inductively coupled plasma)-CVD이다. ICPCVD 장비는 대면적(8인치 이상의 Si wafer 공정가능)과 높은 플라즈마 밀도($10^{12} \sim 10^{13}/\text{cm}^3$)를 얻을 수 있기 때문에 양질의 FAC 박막을 얻을 수 있다. 따라서 현재 개발된 HDPCVD 장비중 ICPCVD가 차세대 소자 공정에서 가장 유력한 공정장비로 적용될 것으로 산업체에서는 기대를 하고 있고, 현재 식각장비로서 활용되고 있다.(Yun 등 1996, Kim 등 1996)

본 실험에서는 $0.18 \mu\text{m}$ 급 이상 차세대 기억소자에 적용될 IMD 물질의 새로운 원재료와 장치로서 CF_4/CH_4 precursor를 이용하여 ICP-CVD 방법으로 FAC 박막을 증착하였다. 증착된 박막의 특성은 FTIR, Ellipsometry, C-V, I-V, XPS, 등으로 결합모드와 유전상수, 누설전류, breakdown voltage 등을 측정하여 그 특성을 조사하였다.

II. 이론

1. 절연막의 전기적 특성에 관한 이론

반도체의 공간 전하영역의 미분 정전용량 C_D 은

$$C_D = \frac{\partial Q_s}{\partial \Phi_s} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{L_D} = \frac{[1 - e^{-\beta \Phi_s} + \frac{n_{p0}}{p_{p0}} (e^{-\beta \Phi_s} - 1)]}{F(\beta \Phi_s, \frac{n_{p0}}{p_{p0}})} \quad (1)$$

이고 여기서, Φ_s 는 표면 퍼텐셜이고, Q_s 는 공간전하밀도이며, n_{p0} , p_{p0} 는 표에서의 전자와 양공의 농도이다. 그리고, ϵ_0 는 진공중의 유전율이고, ϵ_s 는 반도체의 유전율이며, L_D 는 양공에 대한 외인성 Debye 반경이다. 그리고 F 함수는

$$F(\beta \Phi_s, \frac{n_{p0}}{p_{p0}}) = [(e^{-\beta \Phi_s} + \beta \Phi_s - 1) - \frac{n_{p0}}{p_{p0}} (e^{-\beta \Phi_s} - \beta \Phi_s - 1)]^2 \quad \text{이다. 평탄띠조}$$

건 ($\Phi_s=0$)에서 C_D 는 flat band에 의한 정전용량으로서 위식에서 지수함수를 급수 전개하여

$$C_D = \sqrt{2} \epsilon_0 \epsilon_s / L_D \quad (2)$$

와 같이 표할 수 있다. MIS(metal-insulator-semiconductor) 구조의 정전용량-전압 (C-V)곡선을 구하기 위해서는 절연체의 정전용량과 반도체의 공간전하 정전용량을 모두 고려해야한다. 반전상태를 예를 들어 MIS 구조 전체를 고려하여 Fig 1(a)에서 처럼 이상적인 에너지띠를 표현할 수 있으며 Fig 1(b)에서는 전하분포를 나타내었다. MIS 구조에서 계의 전하 중성을 위해 다음과 같은 조건이 요구된다.

$$Q_m = Q_n + q N_A W = Q_s \quad (3)$$

여기서, Q_m 은 금속에 있는 단위면적당 전하이고, Q_n 은 반전영역에 있는 단위면적당 전하이고, $q N_A W$ 는 공간전하폭 W 를 갖는 공간전하영역에 있는 단위면적당 이온화된 받개이며, Q_s 는 반도체 내의 단위면적당 총전하이다. 전기장과 퍼텐셜은 Poisson 방정식을 각각 1차, 2차 적분하여 구할 수 있으며, 반전상태에서의 전기장과 퍼텐셜을 Fig 1(c), (d)에 나타내었다. 만일 일함수 차이가 없다면, 인가전압은 절연체와 반도체에 대하여

$$V = V_i + \phi_s, \quad V_i = -\frac{Q_s d}{C_i} = \left(-\frac{Q_s}{C_i}\right) d \quad (4)$$

와 같게 된다. 여기서 V_i 는 절연체에 걸린 퍼텐셜로 Fig 1(d)에 해당한다. 그러므로 계의 총정전용량 C 는 절연체의 정전용량(C_i)과 반도체의 공간전하 정전용량(C_D)을 직렬연결한 것으로 다음과 같다.

$$C_i = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{d}, \quad C = \frac{C_i C_D}{C_i + C_D} \quad (5)$$

절연체의 두께 d 를 이용하면 C_i 는 일정한 값을 가지고 계의 최대 정전용량이 된다. C_D 는 식(1)과 같이 전압계에 의존한다. 따라서 식(1), (4), (5)로부터 이상적인 MIS구조의 정전용량-전압 곡선을 구할 수 있으며, Fig 2와 같이 나타낼 수 있다. 평탄띠조건($\phi_s = 0$)에서 식(2), (5)를 이용하여 다음과 같이 이상적인 평탄정전용량을 구할 수 있다.

$$C_{FB} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_i}{d + \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\frac{\epsilon_0}{\epsilon_s}\right) L_D} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_i}{d + \left(-\frac{\epsilon_0}{\epsilon_s}\right) \sqrt{\frac{kT \epsilon_0 \epsilon_i}{p_m q^2}}} \quad (6)$$

Fig 2의 정전용량-전압 곡선을 보면 음의 전압에서는 양공의 축적으로 반도체의 정전용량이 큰 값을 갖게 되어 총정전용량은 절연체의 정전용량에 가깝게 된다. 음의 전압이 충분히 감소하면 반도체 표면에서의 공핍영역이 절연체의 정전용량에 가깝게 된다. 음의 전압이 충분히 감소하면 반도체 표면에서 전자의 반전층이 형성되다가

다시 증가한다. 최소 정전용량과 이에 대응하는 최소 전압을 각각 그림에 C_{mn} ,

V_{mn} 으로 표시하였다. 정전용량의 증가는 미소교류전압의 주파수에 따르는 전자농

도에 의해 좌우된다. 즉, 소수운반자(p형 반도체의 경우는 전자의 재결합 생성률이 지속될 수 있고, 측정신호에 따라 반전층의 전하를 변화시킬 수 있는 저주파수에서만 정전용량이 증가한다. 그와 반대로 Fig 2 (a)에서 처럼 고주파수에서는 증가하지 않는다. 반도체의 표면이 공핍되면, 공핍영역에서의 이온화된 받개의 단위면적당 총 전하는 $(-q N_A W)$ 로 주어지게 되며, 여기서 W 는 공핍폭이다. Poisson 방정식

을 적분하면, 공핍영역에서의 퍼텐셜 분포를 구할 수 있다.

$$\Phi = \Phi_s \left(\frac{1-x}{W} \right)^2, \quad \Phi_s = \frac{q N_A W^2}{2 \epsilon_s} \quad (7)$$

여기서, Φ_s 는 표면퍼텐셜이다. 인가전압이 증가하면 Φ_s 는 증가하며 공핍폭 W 도 증가한다. Fig 1에서 처럼 에서 $\Phi_s(inv) \approx 2 \approx \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$ 강반전이 일어나게 되며, 이때 식(7)에서부터

$$W_m \approx \sqrt{\frac{4 \epsilon_0 \epsilon_s \Phi_s(inv)}{q N_A}} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_0 \epsilon_s kT (N_A / n_i)}{q N_A}} \quad (8)$$

로 구할 수 있다. 여기서 강반전이 일어나는 전압을 문턱전압(turn-on Voltage) V_T 라 하며 식 (1), (5)로부터

$$V_T = -\frac{Q_s}{C_i} + 2 \Phi_s \quad (9)$$

이고, 이에 대응하는 총정전용량은 다음과 같다.

$$C_{mn} = \frac{\epsilon \epsilon_i}{d + \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_s}\right) W_m} \quad (10)$$

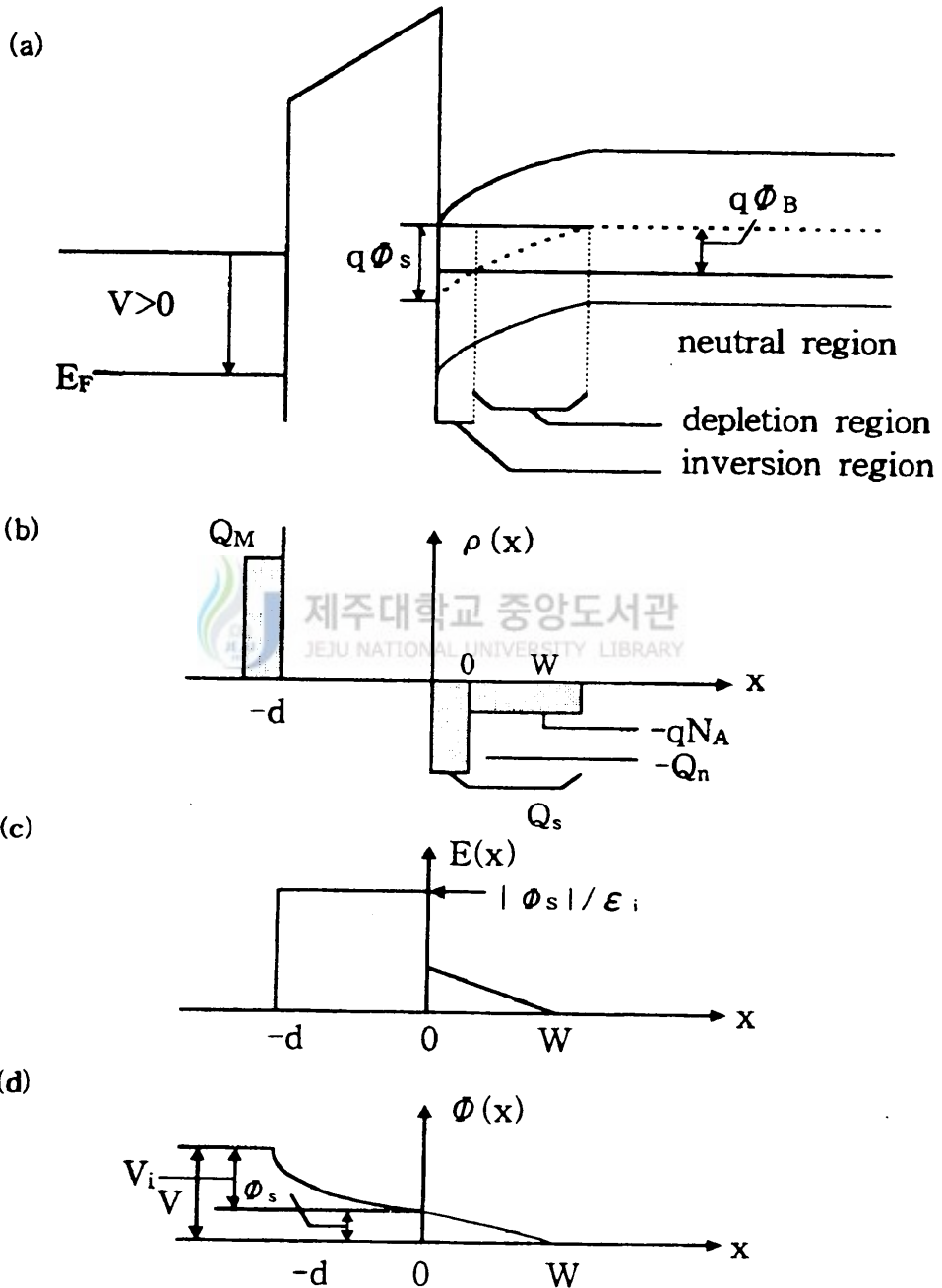


Fig 1. Ideal MIS structure at $V > 0$ inversion state. (a) energy band, (b) charge distribution, (c) electric field distribution, (d) potential distribution.

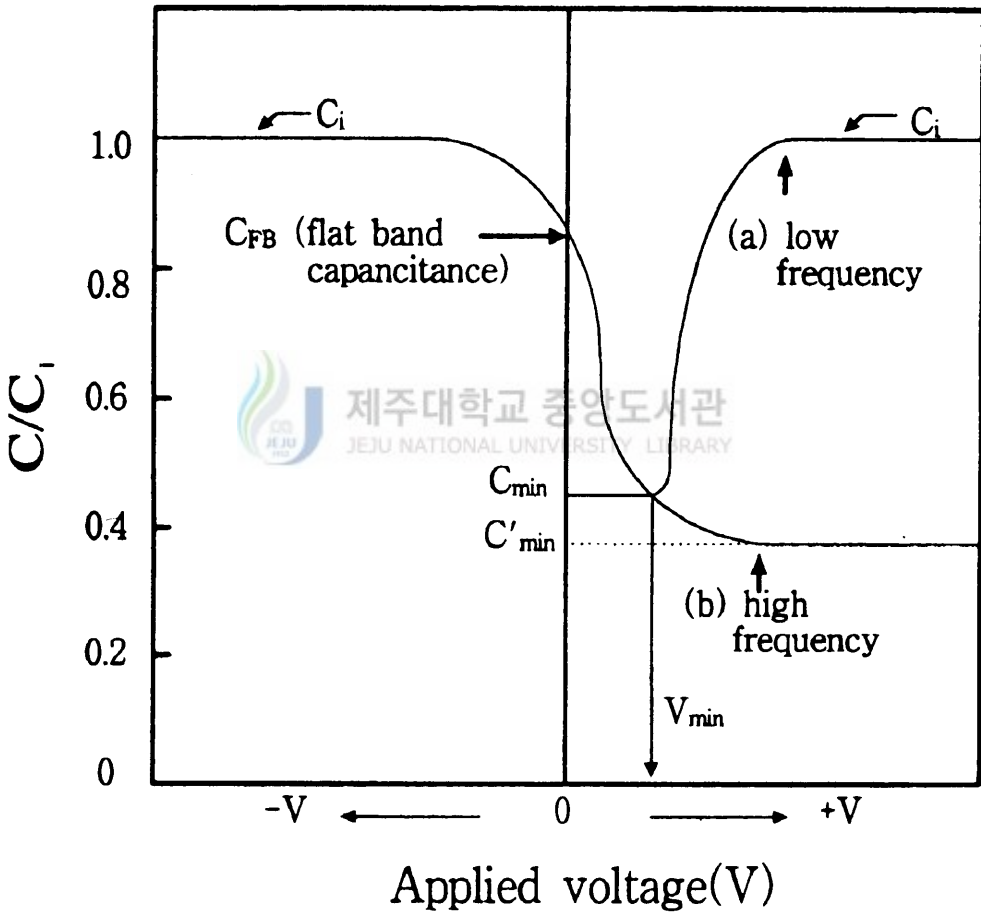


Fig 2. C-V characteristics diagram of MIS structure, (a) Low frequency and (b) High frequency.

2. 플라즈마 형성에 따른 Matching network

Fig 3 a)는 rf 신호발생기와 글로우 방전사이의 일반적인 matching network를 나타낸 것이다. 이러한 회로는 방전 내로 전력이 골고루 전달되고 또한 rf 신호발생기를 보호한다. 이러한 회로를 이해하기 위해서 Fig 3 b)와 같이 직류로 구성되어있는 회로를 이해할 필요가 있다. 이 회로에서 가변저항 R 과 내부저항 r , 그리고 기전력 E 로 구성되어 있다(Chapman 1980). 여기서 전류 I 는

$$I = \frac{E}{r+R} \quad (1)$$

이다. 그 결과 전력 P 는 R 에 의해서 주어지는데

$$P = \frac{E^2 R}{(r+R)^2} \quad (2)$$

이다. 최대값을 구하기 위해 P 를 저항 R 에 대해 미분하면,

$$\frac{dP}{dR} = \frac{E^2(r+R)^2 - 2(r+R)E^2R}{(r+R)^4} \quad (3)$$

$r=R$ 에서 $\frac{dP}{dR} = 0$ 이므로, 최대값 $P = \frac{E^2}{4R}$ 을 얻는다.

직류대신 교류를 인가하였을 때 방전의 임피던스가 $Z_D = R_D + jX_D$ 이고 방전내의 시간 평균한 전력 \bar{P} 는

$$\bar{P} = \frac{1}{2} R_e(V_{rf} I_{rf}) \quad (4)$$

여기서

$$I_{rf} = \frac{V_T}{R_T + R_D + jX_D} \cdot V_{rf} = I_{rf}(R_D + jX_D) \quad (5)$$

이다. 그러므로

$$P = \frac{1}{2} |V_T|^2 \frac{R_D}{(R_T + R_D)^2 + X_D^2} \quad (6)$$

직류에서와 마찬가지로 최대값을 구하기 위해 $\partial P / \partial X_D = 0$, $\partial P / \partial R_D = 0$ 값과 $X_D = 0$, $R_D = R_T$ 를 넣고 계산하면 최대전력 P_{max} 는

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \frac{|V_T|^2}{R_T} \quad (7)$$

를 얻을 수 있다.

Fig 3 a)는 실험에서 사용된 matching network이다(Lieberman 1994). A-A'사이의 어드미턴스는

$$Y_A \equiv G_A + jB_A = \frac{1}{R_S + j(X_1 + X_S)} \quad (8)$$

이고, 여기서 컨덕턴스 G_A 는

$$G_A = \frac{R_S}{R_S^2 + (X_1 + X_S)^2} \quad (9)$$

이고, 서셉턴스 B_A 는

$$B_A = -\frac{X_1 + X_S}{R_S^2 + (X_1 + X_S)^2} \quad (10)$$

이며, $X_1 = -(wC_1)^{-1}$ 이다. 여기서 G_A 가 $1/R_T$ 와 같다고 선택하고

$R_T = 50 \Omega$ 으로 놓으면 C_1 과 C_2 를 구할 수 있다.

반면에 C_1 과 C_2 가 주어졌을 때 부하의 R, L값은 다음 식과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} R_S &= \frac{R_T C_2^2}{(C_1 + C_2)^2 + (\omega R_T C_1 C_2)^2} \\ L &= \frac{1}{\omega^2 C_2} \left[1 - \frac{C_1 + C_2}{(C_1 + C_2)^2 + (\omega R_T C_1 C_2)^2} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

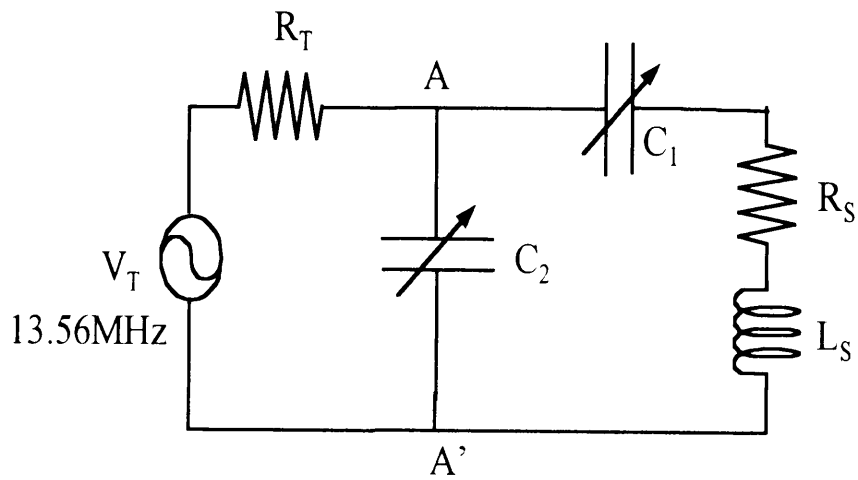


Fig. 3 a) rf matching network.

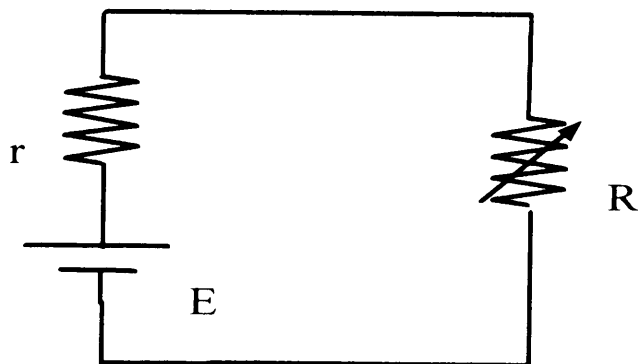


Fig 3. b) DC circuit.

III. 실험 및 방법

1. ICPCVD 장치 구성

Fig 4는 ICP CVD 장치도이다. 이 장치는 반응로, 안테나, 플라즈마 방전튜브, rf 전원으로 구성된 반응부와 로타리 펌프와 확산 펌프로 구성된 진공 배기부 그리고, 반응가스를 주입시켜주는 가스 주입부로 나누어져 있다. 여기서 유량은 MFC(mass flow controller)로 제어되도록 하였고, 유량에 따른 진공도 제어는 throttling valve로 하였다. 진공도 측정은 baratron 게이지로 측정하였다. 방전튜브로는 직경 130mm 길이 300mm의 석영튜브를 사용하였으며, 반응용기는 직경 30cm, 길이 40cm이다. rf 발전기의 주파수는 13.56MHz 범위의 주파수에서 최대 1kW의 출력을 연속적으로 낼 수 있도록 하였다.

사용된 안테나는 단면의 크기가 1/4인치인 구리 튜브로 4turn으로 하였다. 초기 플라즈마 특성조사는 방전가스를 아르곤으로 하였으며, 가스는 안테나의 위치로부터 약 20cm 떨어진 부분에서 분사되도록 하였다. rf 출력은 100W에서 800W까지 100W간격으로 변화시키면서 실험을 하였다. rf의 반사파는 각 출력에서 가변 용량기들을 변화시키면서 조절하였는데, 각 출력에 대해 반사파가 10%이내에 들도록 임피던스를 맞추어 가면서 실험을 하였다. 매칭 네트워크의 위치는 차폐 장치옆에 위치하도록 하였다.

플라즈마의 밀도와 전자온도 그리고 플라즈마 전위의 반경방향의 분포를 측정하기 위하여 전기 탐침과 전자 방출 탐침을 안테나의 위치에서 약 5cm 떨어진 부분에서 플라즈마내로 삽입하였다. 발생된 radical들의 방출강도는 OES(optical emission spectroscopy)의 optical fiber를 석영관 상단에 설치하였다.

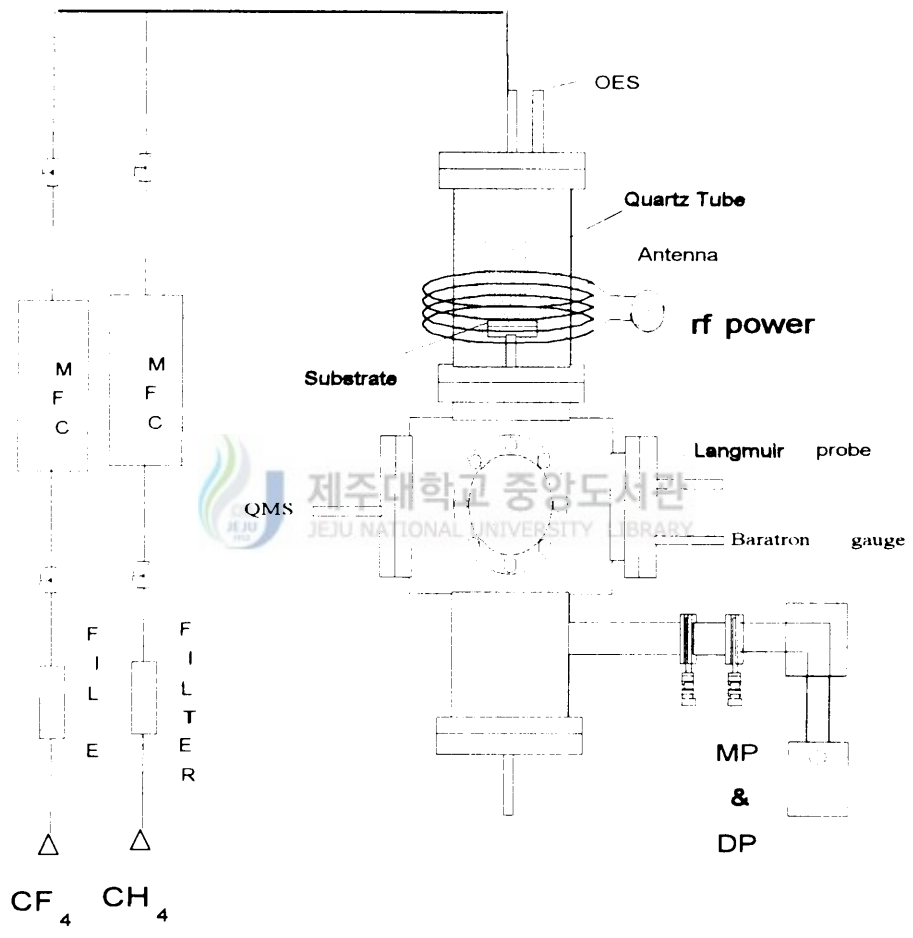


Fig 4. Schematic diagram of ICPCVD.

2. ICPCVD 플라즈마의 특성

1) Ar-플라즈마 특성

ICPCVD 방법에 의한 FAC 박막의 형성에 있어서 가장 중요한 것은 고밀도와 균일한 상태의 플라즈마 발생상태이다. 플라즈마 밀도를 10^{12} cm^{-3} 이상을 얻기 위하여, 안테나 mode, rf power, 진공도와 자기장의 세기등을 변화시켜 가면서 플라즈마 상태를 조사하였다. 기판의 크기가 6인치 Si wafer에 고밀도와 균일한 플라즈마 방전영역 및 특성을 얻기 위하여 Fig 4.와 같이 제작된 ICPCVD 장치에서 안테나는 4회전, rf 전원의 주파수는 13.56 MHz, 전력은 800 W, 그리고 가스의 주입에 따라 각각의 반응용기의 압력에 대한 플라즈마 특성을 조사하였다. 반응용기의 진공도를 100 mTorr, 130 mTorr, 150 mTorr, 그리고 200 mTorr에서 rf 전원의 출력을 400 W에서 800 W까지 변화시키면서 6인치 wafer의 중앙 부분에 대한 Ar 플라즈마의 밀도와 전자온도는 Fig 5와 Fig 6과 같다. Fig 5에서 진공도가 100 mTorr이고 rf 출력이 400 W 일 때 전자밀도는 약 $1.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었고, rf 출력이 800 W 일 때 전자밀도는 약 $2.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 그러나 진공도가 200 mtorr이고 rf 출력이 400 W 일 때 전자밀도는 약 $0.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었고, rf 출력이 800 W 일 때 전자밀도는 약 $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 이 결과에서 rf 출력이 증가함에 따라 전자밀도가 거의 선형적으로 증가하였고, 진공도가 낮을수록 전자밀도는 높게 나타남을 보아 이 장치에서는 전형적인 플라즈마가 발생됨을 알 수 있다. 전자의 온도특성은 Fig 6에서 진공도가 100 mTorr이고 rf 출력이 400 W 일 때 4.53 eV 이었고, rf 출력이 800 W 일 때에는 5.32 eV로 높아졌다. 그러나 진공도가 200 mTorr이고 rf 출력이 400 W 일 때 전자밀도는 약 3.98 eV이었고, rf 출력이 800 W 일 때에는 4.88 eV 이었다. 따라서 전자온도는 진공도가 낮을수록 rf 출력이 높을수록 증가함을 알 수 있었다. 기판 위에 플라즈마의 기판 반경방향으로의 공간적 분포변화는 Fig 7과 같이 기판의 중심에서 $\pm 40 \text{ mm}$ 범위에서 좋은 균일성을 보였으며, 압력이 150

mTorr, 200 mTorr 압력에서 $3 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 으로 높은 밀도를 가지고 있다. Fig 8의 전자온도의 분포는 반응로의 압력이 100 mTorr에서 기판의 중심에서 ± 40 mm 범위에서는 2.8 eV로 균일한 분포를 보였으나 그 이상의 범위에서는 감소함을 보이고 있으며, 압력이 낮을수록 중심에서의 균일도는 좁은 영역을 나타내고 있다. 기판의 중앙부분이 가장 높은 것은 skin depth 영역에서 가속된 전자가 축방향으로 열적 운동을 하면서 중성가스를 이온화시키기 때문이다. 이러한 조사에서 rf 출력이 높고 기판의 중앙부분에서 Ar gas를 주입한 플라즈마 상태가 가장 양호한 상태로 나타났다.



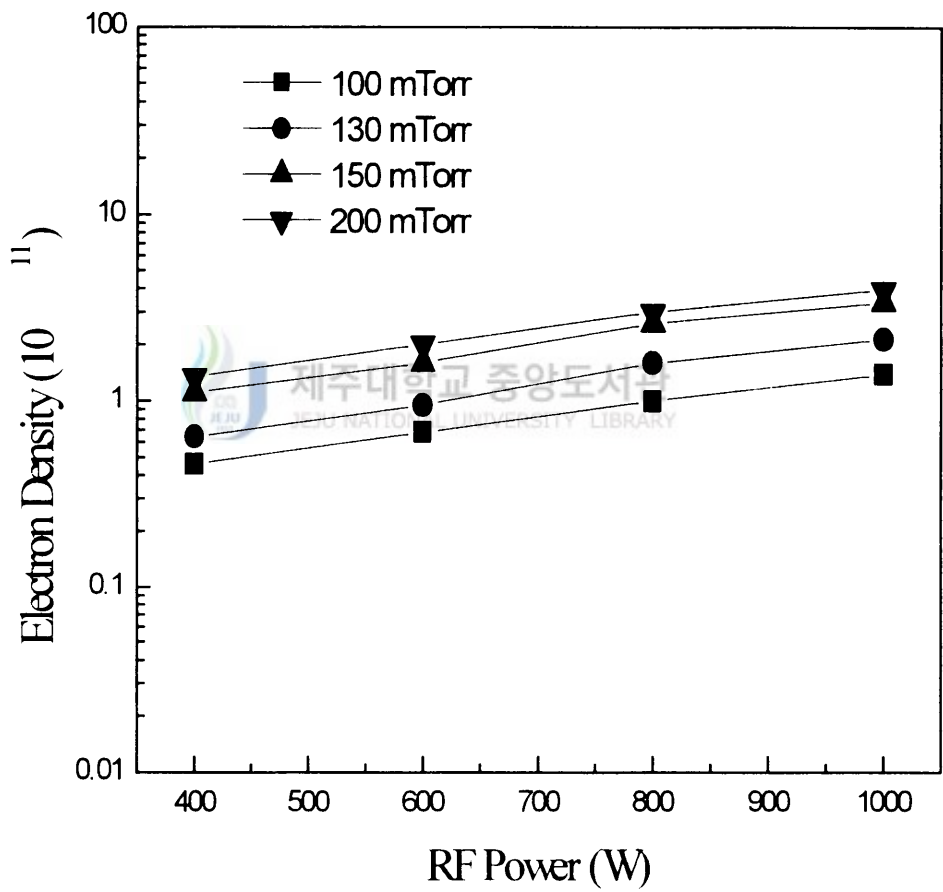


Fig 5. Electron density of Ar plasma on the rf power in the pressure of 100mTorr, 130 mTorr, 150 mTorr, and 200 mTorr.

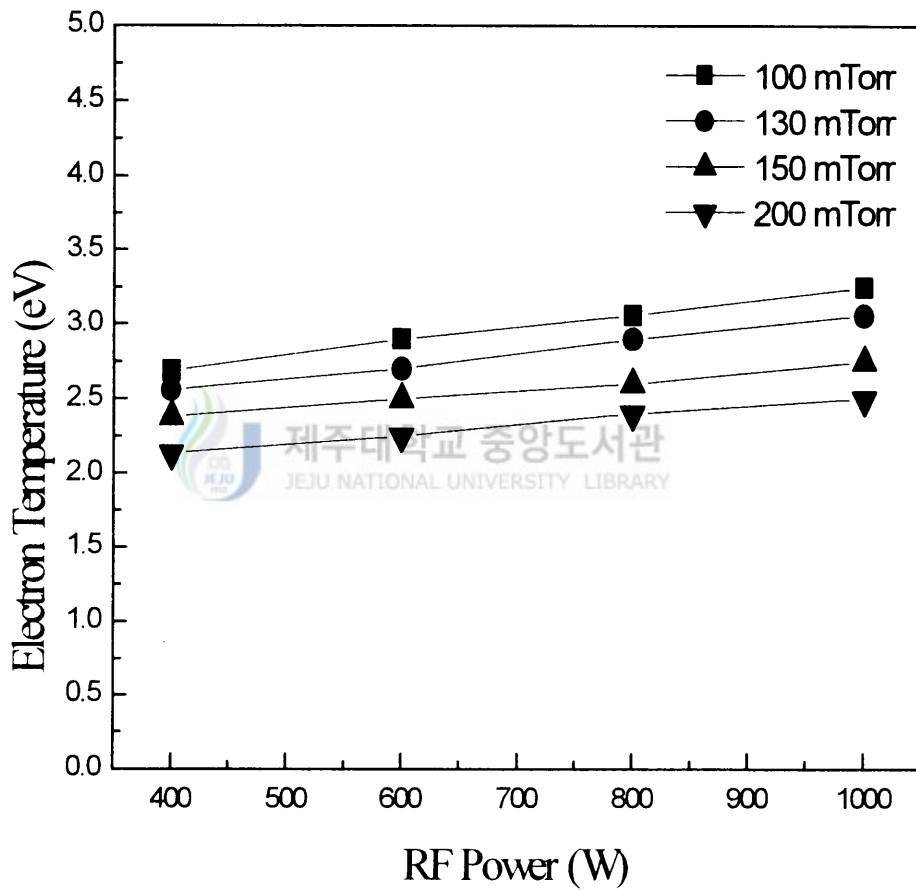


Fig 6. Electron temperature of Ar plasma on the rf power in the pressure of 100mTorr, 130 mTorr, 150 mTorr, and 200 mTorr.

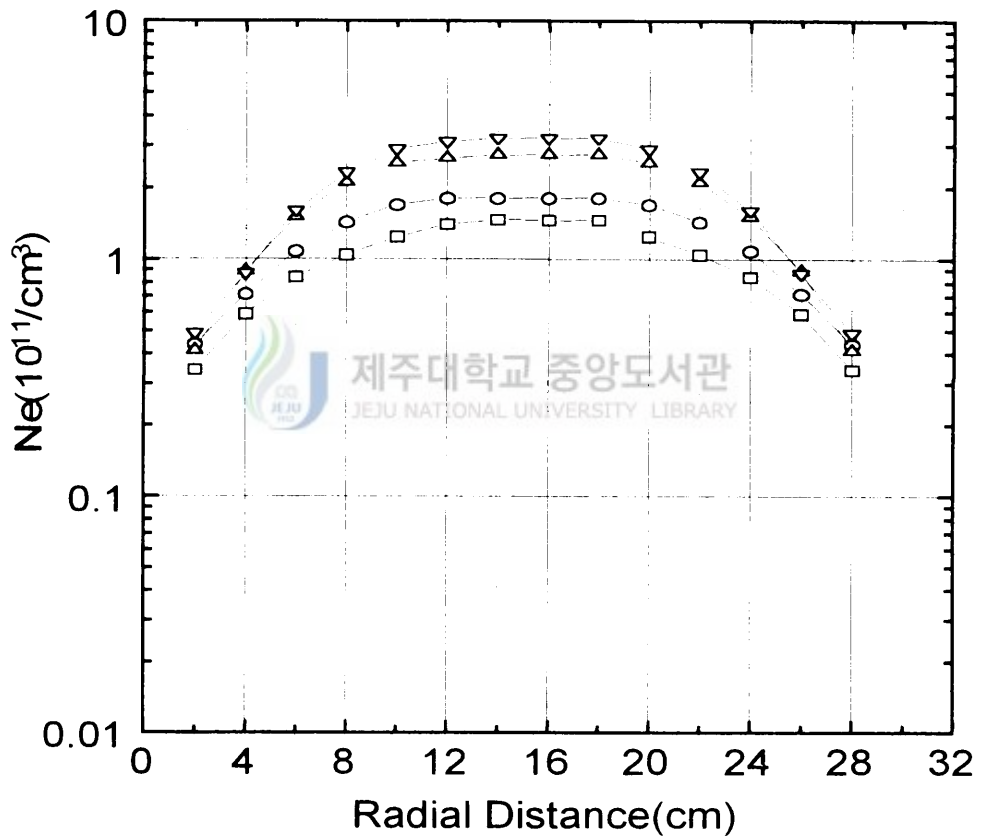


Fig 7. Density of Ar plasma for radial distance in the pressure of 100 mTorr, 130 mTorr, 150 mTorr, and 200 mTorr at 800W rf power.

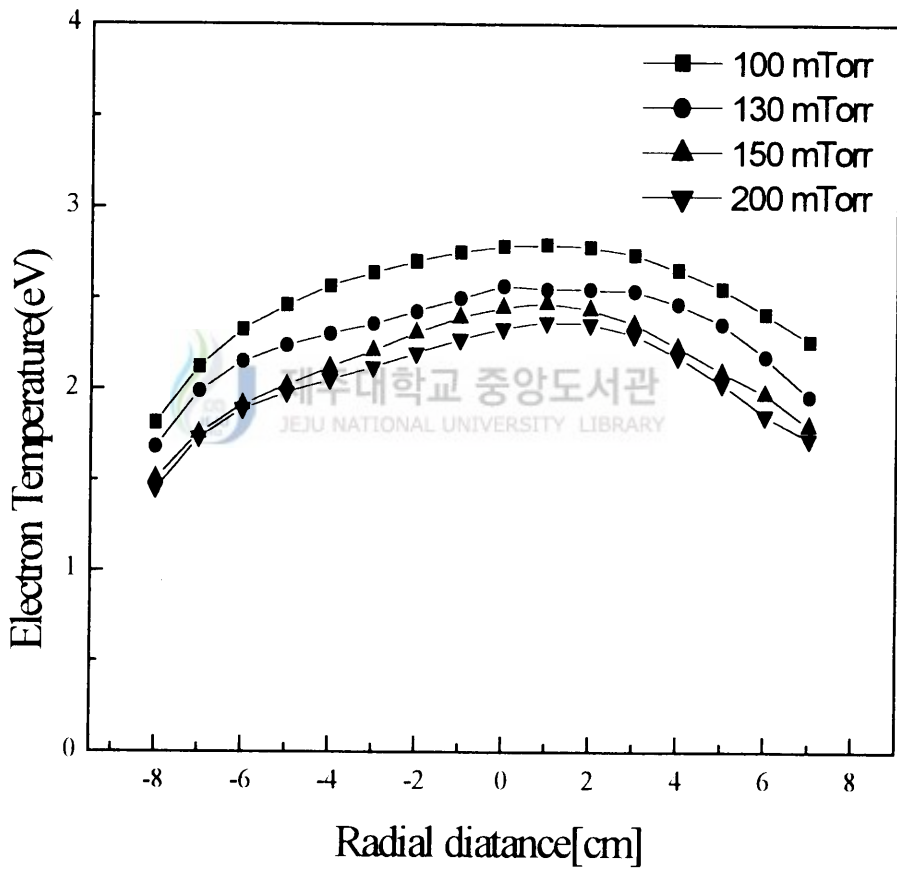


Fig 8. Density of Ar plasma for radial distance in the pressure of 100 mTorr, 130 mTorr, 150 mTorr, and 200 mTorr at 800W rf power.

2) 이온에너지 분포와 종들의 비

Fig 9에서 보듯이 이온에너지는 그리드전압에 따라 변하고있다. 이러한 플라즈마 전위와 이온에너지의 관계는 CCP 에서는 coburn에 의해, ICP에서는 Kortshagen에 의해 실험과 이론적으로 설명되었다. 준 중성 플라즈마(quasi-neutral plasma)에서 들어오는 이온들은 유층돌 presheath에서 가속된다. 이 유층돌 presheath에서 가속된 이온분포는 Riemann에 의하면 중심 최대 에너지가 kT_e 에 있고, 에너지 분포는 다음과 같은 함수로 주어진다.

$$f(y) \propto \frac{\phi'(t_0 - y)}{\phi(t_0)}$$

여기서 $M_{iv}^2/(2kT_e)$ 는 규격화된 이온 운동에너지이고, ϕ 는 $t_0=0.44636\dots$ 에서 최대가 되는 자기일치 퍼텐셜이고, $\ln\phi$ 와 $\phi'/\phi(t_0)$ 는 Riemann에 의해 표로 정리된 값이다. 이 이온에너지 분포는 길이가 짧고 무층돌의 sheath를 지나 반응용기의 벽에 도달하게되면, 쉬스와 벽 사이의 전위차 만큼의 에너지 이동이 일어나게 된다. 그러므로 반응용기 벽에서 관측되는 IED는 Fig 10과 같이 중심 최대 에너지는 presheath에서 얻은 에너지와 쉬스와 벽 사이의 전위차에서 얻은 에너지의 합이 되고, 단일 에너지분포를 갖게된다. Fig 11은 Ar 85 sccm/ CF₄ 5 sccm, 10 mTorr, 13.56 MHz, 400 w, grid size 30의 플라즈마 조건에서, 그리드 전압에 따른 CF₂⁺/CF₃⁺과 CF⁺/CF₃⁺의 비율들을 보여준다. 이 실험결과들은 QMS 출력 신호와 용기 안의 이온 밀도사이에는 다음과 같은 관계가 있고,

$$j_{+r} = 0.4eAn_i \left(\frac{2kT_i}{\pi m_i} \right)^{1/2}$$

여기서 A는 구멍의 면적, T_i는 이온의 온도, m_i는 이온의 질량이다. 또한 플라즈마 내에 두 종류(k, l)의 이온이 존재하면 이들 사이의 밀도비율은 다음과 같으므로,

$$\frac{n_k}{n_l} = \frac{j_{r,k}}{j_{r,l}} \left(\frac{m_k}{m_l} \right)^{1/2}$$

본 실험에서는 gas를 추출하는 구멍의 분출과정에서 나타나는 ($\propto \frac{1}{\sqrt{m}}$)의 효과를 고려하여 CF₄ : CF₃ : CF₂ : CF = 1 : 1.2 : 1.4 : 1.8 의 비로 규격화를 해주어 실제

반응용기 안의 CF_x^+ 의 상대적인 비를 구하였다.

Fig 11에서 보듯이 그리드 전압이 양 전압에서 음 전압으로 감소함에 따라 CF_2^+/CF_3^+ 와 CF^+/CF_3^+ 는 감소하는 경향을 보인다. 측정결과에서, 그리드 전압이 10 V 근처에서는 CF_2^+/CF_3^+ 와 CF^+/CF_3^+ 는 각각 0.25, 0.14이나, -15 V 근처에서는 각각 0.13, 0.05임을 보여준다. 따라서 CF_2^+/CF_3^+ 는 그리드 전압이 10 V에서 -15 V로 감소함에 따라 2배 감소하며, CF^+/CF_3^+ 는 3 배정도 감소함을 의미한다. 이러한 결과는 그리드 전압 감소에 따라 전자온도가 1.8 eV에서 0.6 eV로 감소함으로 CF_4 의 해리 이온화율이 감소함으로 나타나는 현상으로 해석 할 수 있다. 따라서 전자온도가 높아짐에 따라 이온화율이 증가하는데 Ar 플라즈마 특성에서 보듯이 전자온도를 낮추려면 rf power를 높여주어야 한다.



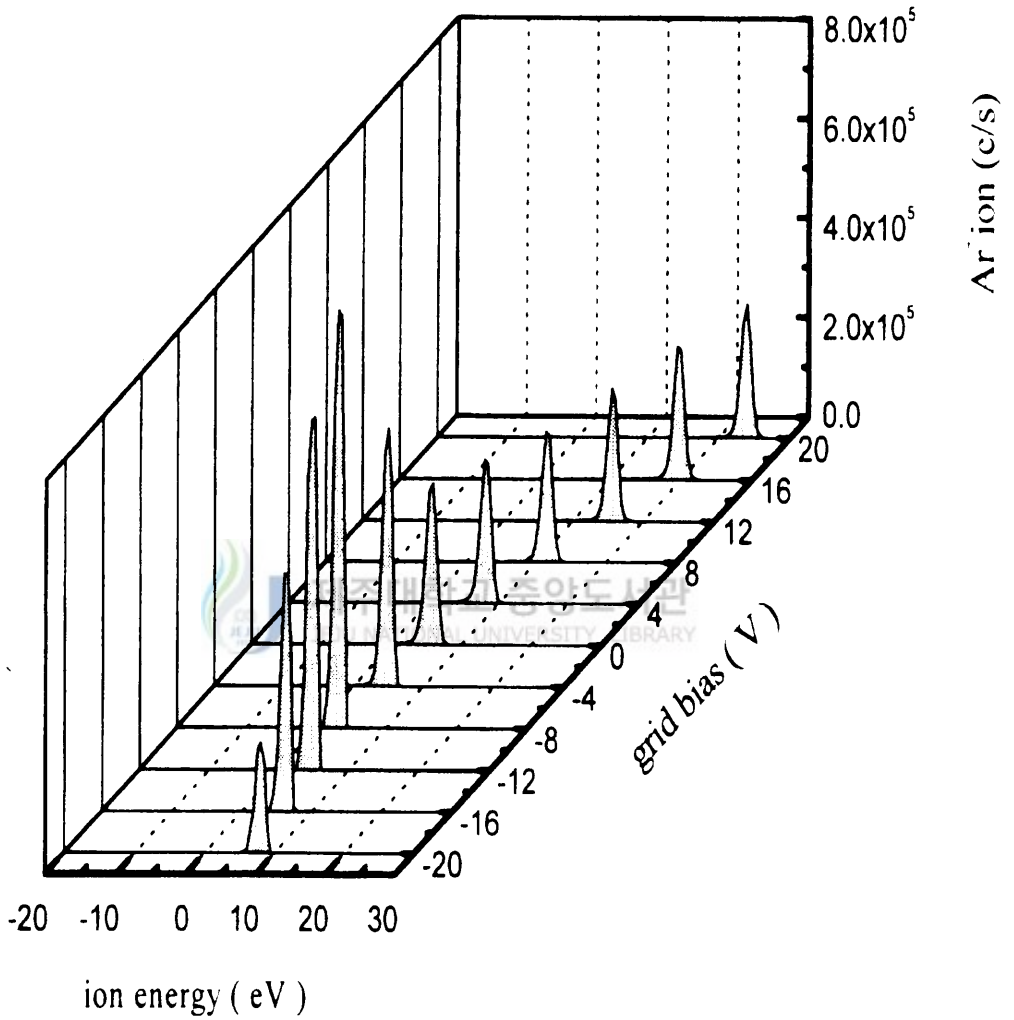


Fig 9. ion energy for grid vias at 400 w, 13.56MHz, 1 mTorr, orifice 100 μ m, G30.

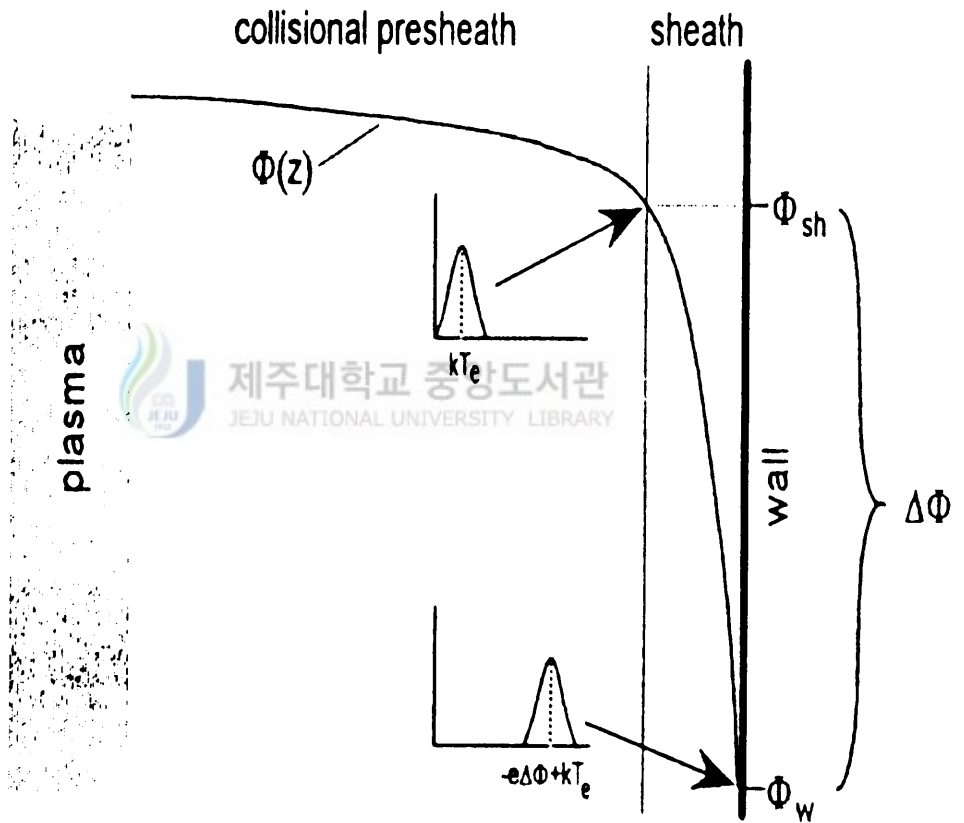


Fig 10. Distribution of Ar^+ ion energy formed from presheath and sheath.

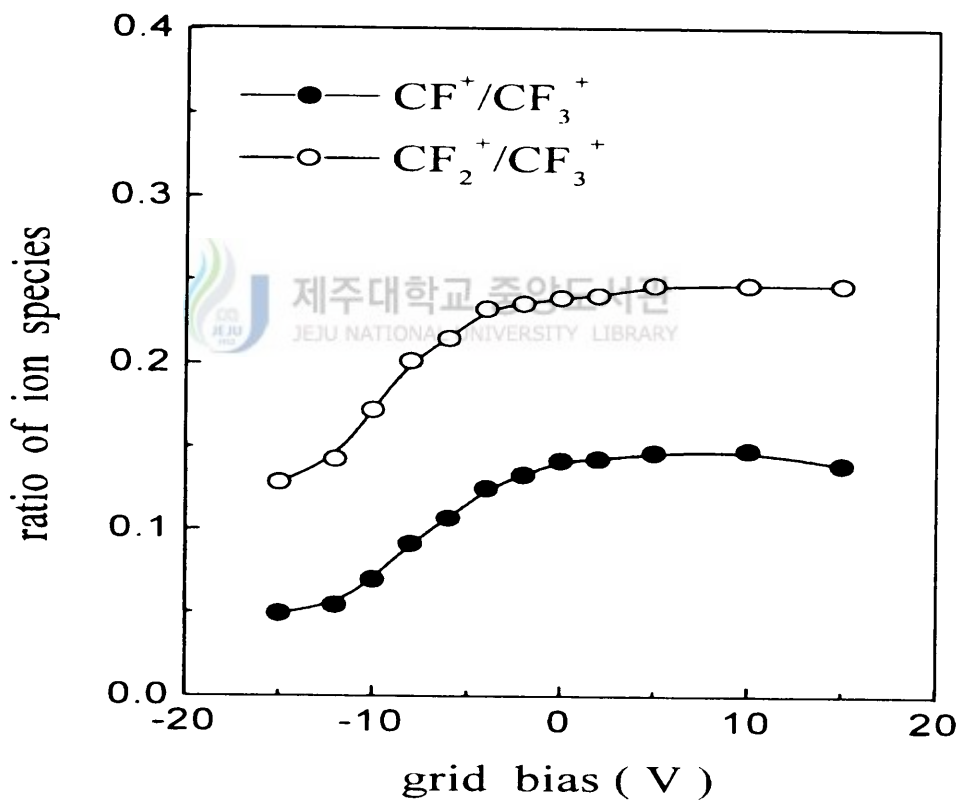


Fig 11. Dependence of CF_2^+/CF_3^+ and CF^+/CF_3^+ ratio on the grid bias at rf 400 w, Ar 85 sccm, CF_4 5 sccm, and 10 mTorr.

3) CF₄/CH₄ 유량비에 따른 플라즈마 특성

CF₄/CH₄ 유량비를 5:20(sccm), 5:25(sccm), 5:30(sccm), 그리고 5:35(sccm)로 했을 때의 전자밀도와 전자온도는 Ar 플라즈마에서 나타나는 현상과 비슷하게 나타났다(Fig 5와 6참조). rf 출력을 400 W일 경우에는 유량비가 5, 6, 그리고 7일 경우 전자밀도가 가스 혼합비에 관계없이 약 $0.7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었으나 rf 출력이 증감함에 따라 전자밀도는 약간 증가되어 rf 출력이 800 W에서는 약 $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었다. 그러나 혼합비가 4인 경우에는 rf 출력이 400 W에서 전자밀도가 약 $3.01 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이었고, 800 W에서는 약 $5.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 으로 나타났다. 그러나 전자온도는 rf 출력이 증가함에 따라 감소되는 현상을 보였고, 출력이 600 W에서는 혼합비에 관계없이 1.6 eV로 거의 일정한 값을 갖는 것으로 나타났다. 플라즈마 밀도를 증가시키기 위하여 혼합가스에 CH₄의 유량과 같은 양의 Ar 가스를 주입했을 때의 전자밀도와 전자온도에 대한 특성은 Fig 12와 Fig 13과 같다. Fig 12에서 전자밀도는 Ar 가스를 주입하지 않을 때 보다 약간 증가하였다. rf 출력이 낮을 때에는 CF₄/CH₄ 혼합비에 따라 약간 다르게 나타났으나 rf 출력이 700 W에서는 약 $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 로 비슷하게 주어졌고 700 W 이상에서는 크게 증가하지 않았다. 전자온도인 경우, Fig 13에서 rf 출력이 400 W에서 약 1.9 eV에서 약 2.9 eV로 나타났으나 rf 출력이 600 W에서는 약 1.7 eV 정도로 크게 감소되었고, rf 출력을 증가 시켜도 변하지는 않았다.

이러한 결과는 Ar 플라즈마 특성과 유사하나, Ar 플라즈마에서는 rf 출력을 증가시키면 플라즈마의 밀도와 온도가 계속 증가하는 반면 Ar gas를 넣지 않은 플라즈마에서는 rf 출력을 계속 증가시켜도 플라즈마의 온도와 밀도가 더 이상 변화하지 않는 임계점이 존재한다. 그리고 Ar 플라즈마의 특성에서는 rf 출력에 따라 플라즈마의 밀도와 온도가 거의 선형적으로 비례하는 반면 Ar gas를 넣지 않은 플라즈마에서는 밀도와 온도가 비례하지 않고 오히려 반비례함을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 낮은 플라즈마 온도를 위해 Ar gas를 넣지 않고 실험을 하였다.

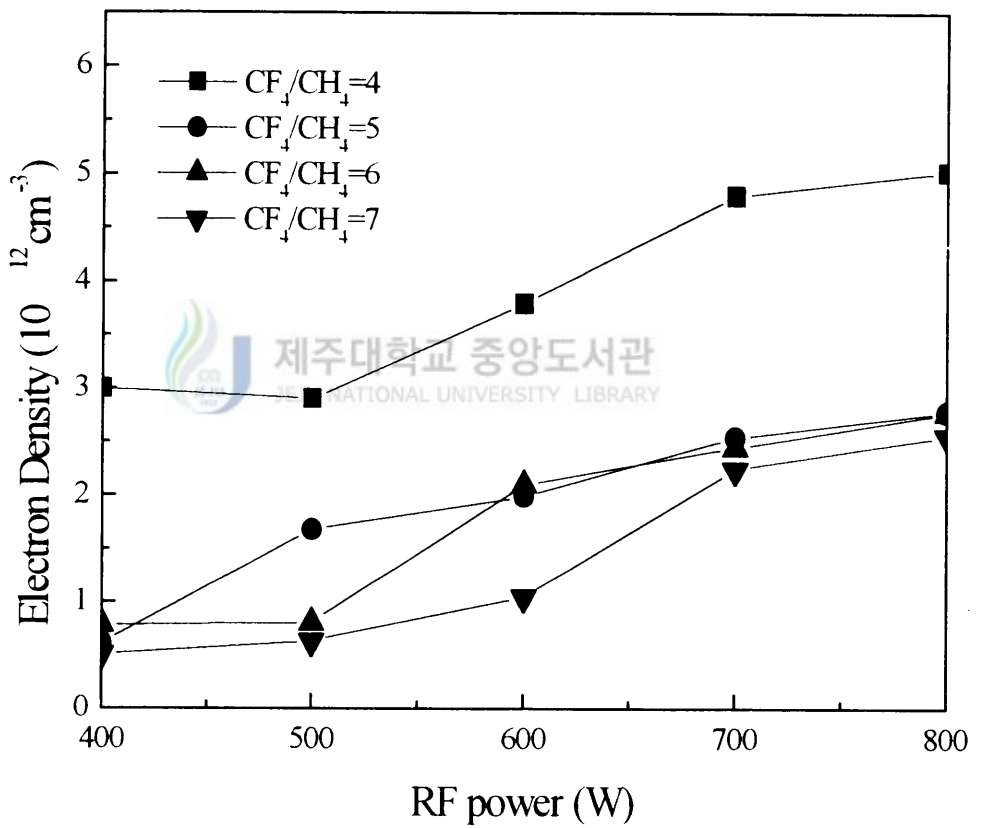


Fig 12. Electron density of CF_4/CH_4 rate ratio is 4, 5, 6, and 7.

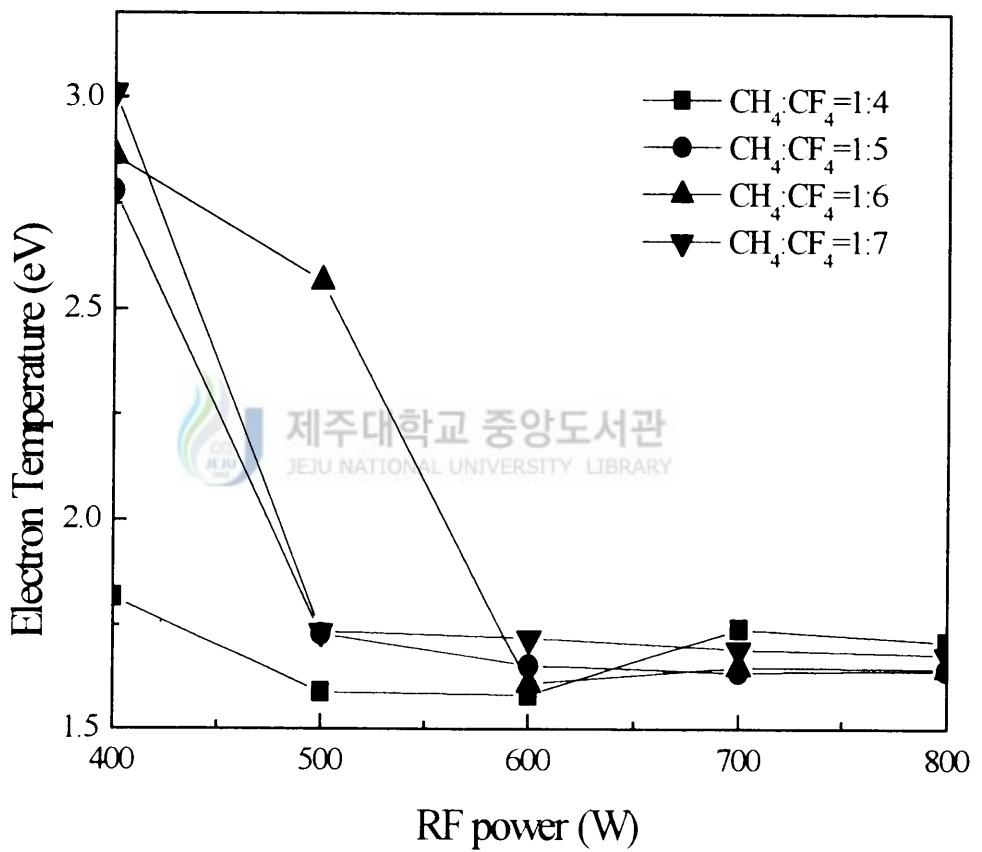


Fig 13. Electron temperature of CF_4/CH_4 rate ratio is 4, 5, 6, and 7.

3. ICPCVD 방법에 의한 박막 형성

1) CF₄/CH₄-ICPCVD 방법에 의한 FAC 박막 형성

본실험에서는 CF₄와 CH₄를 precursor로 사용하고 HDP-CVD 중 ICPCVD 방법을 사용하여 FAC 박막을 형성하였다. 박막 형성시 기판은 p-type Si(100) wafer 기판을 사용하였고, 기판의 표면에 형성되어 있는 불순물 제거는 RCA 세척법으로 제거하여 진공 챔버에 장착하였다. 증착중의 반응용기의 압력은 초기에 $\sim 10^{-6}$ Torr의 진공도에서 행하였다. 13.56MHz의 rf power generator에서 800W의 rf power로 CF₄의 유량을 각각 20~35sccm로 변화시켰고, CH₄의 유량을 5sccm으로 고정하였다. 증착중의 진공도는 100~200mTorr이었으며 증착시간은 10분으로 하였다. 그리고, 기판의 온도는 상온에서 증착하였다. 플라즈마 발생을 위해 4turn의 구리 안테나를 사용하였고, Table 1은 CF₄/CH₄-ICPCVD 방법에 의한 FAC 박막 형성 조건이다.

4. 특성 분석 방법

1) CH₄ + CF₄-ICPCVD 방법에 의한 FAC 박막형성

양질의 FAC 박막을 형성하는데 있어서 가능한 외적요인을 제거하기 위하여 기판 Si(100)의 표면에 형성되어 있는 자연산화막 또는 탄소 등의 불순물의 제거는 RCA 세척법으로 세척하여 진공용기에 장착한 다음 $\sim 10^{-6}$ Torr의 진공도에서 Ar 이온으로 스퍼터링한다. CH₄ + CF₄ source gas와 carrier gas Ar과의 유입량에 따라 증착하였다. 여기서 Ar-gas 사용은 플라즈마 상태에서 Ar 효과를 조사하기 위한 것이다. gas-line과 반응용기의 온도는 플라즈마 화학반응에 요구되는 온도로 유지 시켰다. 이와 같이 준비된 플라즈마상태에서 CH₄ + CF₄ source gas와 carrier gas의 유량비를 변화 시켜가면서 800W의 rf 출력에서 FAC 박막을 형성시켰다.

2) C-F bonding mode 조사

상기와 같이 여러 조건의 변화에 따라 형성된 FAC 박막을 FTIR로서 C-C와 C-F bonding mode를 조사하였다. C-C의 결합과 stretching mode, C-F의 stretching mode 그리고 OH 등의 상태를 wavenumber를 500~2100(cm^{-1})의 영역에서 스펙트럼을 분석하고, C-F stretching mode 스펙트럼의 피크 위치 변화로부터 C와 F 농도에 따른 FAC 박막의 결합상태를 조사하였다.

3) 조성비 분석

XPS로 FAC 박막의 원소의 화학적 상태, 결합에너지, C와 F 농도 분포에 따른 각 원소의 결합에너지 천이정도, 초기 형성과정 및 반응기구를 조사하였다. survey scan 스펙트럼과 원소별 narrow scan 스펙트럼은 각각 pass energy를 100eV, 20eV인 조건에서 수행하였다. 깊이에 따른 성분분석은 Ar 이온 스퍼터링(20Å/min)법으로 시편 표면을 제거해 나가면서 분석을 수행하였다. 원소분석의 경우는 survey 스펙트럼을 이용하여 전 에너지 영역을 저분해능으로 scan하여 얻었다. 이와 같은 조성비의 분석은 FAC 박막의 저유전율화, 저온화, 평탄화의 최적조건에 따른 C와 F의 임계 농도를 규명하기 위함이다.

4) 전기적 특성 분석

형성된 FAC 박막의 유전율, 누설전류, breakdown voltage 등의 전기적 특성을 조사하기 위하여 C-V, I-V에 의해 주파수, 인가전압, 전기용량등을 측정하였다. 이 특성조사는 FAC 박막을 MIS 구조로 형성하며, 전극의 Al으로 증착하였고, 상부전극에는 Pt 탐침을 이용하여 오염성 접촉을 시켰다. 전극 단면적은 0.0025cm^2 로 dot 마스크를 이용하여 patterning 한다. I-V 특성 조사에서 인가전압은 100V까지 하며, C-V 특성 조사에서는 -50V에서 +50V까지 인가한다. dielectric breakdown은 DC전압을 인가하여 완전 절연파괴가 일어나는 전압을 측정하여 측정된 박막의 두께로 나누어 구하였다. 인가전압과 진동수에 따른 정전용량과 유전손실은 -10V에서 +10V 인가전압과 1MHz 이상의 진동수 영역에

서 측정한다. 특히 C-V 곡선은 ramp rate가 2V/s, 20mV의 AC 소신호를 사용하여 측정하였다.

5) 균일도와 굴절을 측정

ellipsometry로 6 inch full wafer 위에 형성된 FAC박막의 균일도와 굴절율은 wafer의 가장자리로부터 0.6cm 내의 영역에서 상하좌우로 9 point를 선택하여 측정한다. 이 분석으로부터 이온화된 원소의 밀도와 박막의 glassy한 상태와 C와 F 함량에 따른 유전율과 굴절율과의 상관관계를 분석하였다.



Table 1. A formation condition of FAC films by CH₄/CF₄-ICPCVD

Antenna Structure	4 turn
RF power	800W, 13.56MHz
Pressure	100 – 200mTorr
CF ₄ gas flow rate	5 – 35 sccm
CH ₄ gas flow rate	5 sccm
Initial pressure	– 10 ⁴ Torr
Working pressure	200mTorr
Deposition time	10 min
Substrate Temperature	Room temperature
Wafer	P-type Si (100)

IV. 결과 및 고찰

1. FAC 박막의 bonding mode

Fig 14는 CH_4 를 5sccm으로 고정시키고, CF_4 를 20에서 35sccm까지 변화시키면서 증착시킨 FAC 박막에 대한 FTIR 스펙트럼이다. CF_4/CH_4 의 유량비가 감소할수록 peak의 intensity는 감소하는데 이는 H의 양이 상대적으로 증가함에 따라 H와 반응 확률이 높아져 화합물이 생성되어 기판에 증착되지 않고 외부로 빠져나가는 것으로 여겨진다. 이 그림에서 980cm^{-1} 와 1108cm^{-1} 근처의 peak는 C-F stretching mode와 C-F bonding mode이다. C-F의 peak의 intensity는 CF_4/CH_4 유량비가 증가함에 따라 증가하는데 이는 플라즈마 내부에서 F의 활성종들이 유량비가 증가할수록 더욱 증가됨을 나타내는 것이다. 이것은 CF_4/CH_4 의 유량이 증가함에 따라 증착된 박막은 강한 cross-linked한 bonding을 하는 구조를 나타내는 것이다. 그리고, 1380cm^{-1} 와 1455cm^{-1} 근처에서의 peak는 C-F_x bonding mode와 C-C bonding mode에 해당한다. 이 그림에서 보는 바와 같이 CF_4/CH_4 의 유량비가 작았을 때는 F의 양이 상대적으로 H의 양보다 작기 때문에 C-F₂와 C-F₃의 bonding은 점차로 증가하고 C-C와 C-F의 bonding은 점차로 감소한다. C-F₂와 C-F₃의 bonding이 증가하는 것은 C와 결합한 H bonding의 양이 C-F bonding의 양보다 상대적으로 많기 때문이다. 그러나 CF_4/CH_4 의 유량이 증가하면 F의 양이 점차로 증가하므로 점차적으로 C-F bonding의 양이 증가한다. 이 때문에 C-H bonding 수는 점차로 줄어든다. 이때, C-C의 bonding 길이는 짧아지는데 이것은 F의 양이 증가함에 따라 생성되는 C-F₃ bonding 때문이다. 최종적으로 이 박막은 짧은 C-C bonding 길이를 갖는 less cross-linked 한 구조를 갖는다. (Han등 1999)

Fig 15는 CH_4 를 5sccm으로, CF_4 를 35sccm로 증착시킨 FAC 박막을 N_2 분위기에서

300℃와 500℃로 30분간 열처리한 박막의 FTIR 스펙트럼을 상온에서 증착시킨 박막과 비교한 것이다. 그림에서 보면 열처리 온도가 올라감에 따라 C-F와 C-F₃의 bonding peak의 intensity가 점차로 감소한다. 이러한 결과는 Han 등의 연구결과와도 잘 일치하는데, 이는 열처리하면서 점차 F의 농도가 감소하고 이로써 박막의 열적 안정성이 증가하는 것으로 추정된다. C-F와 C-F₃ bonding이 온도가 올라감에 따라 그 위치가 변하고 F의 양이 감소함에 따라 강한 cross-linked 한 구조에서 less cross-linked한 구조의 FAC 박막으로 변하는 것으로 추정된다.



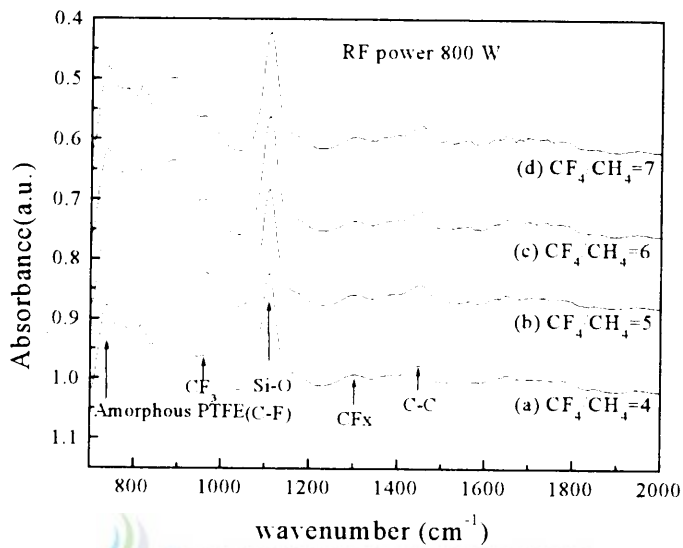


Fig 14. The FTIR spectrum of FAC film deposited

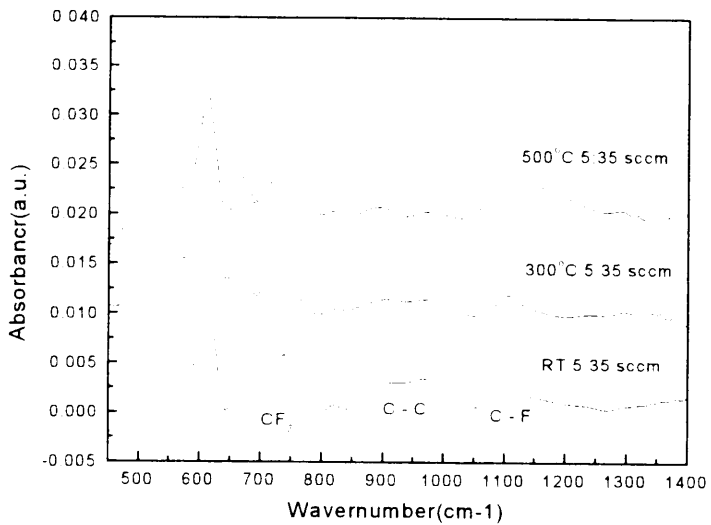


Fig 15. The FTIR spectrum of FAC film deposited at $CF_4/CH_4=7$ and after annealed at $300^\circ C$, $500^\circ C$

2. FAC 박막의 결합상태 및 조성비 분석

형성한 박막의 깊이에 따른 결합상태와 조성비를 XPS 스펙트럼을 이용하여 조사하였다. Fig 16, Fig 17, Fig 18은 CF_4/CH_4 의 유량비를 각각 5, 6, 7로 하여 형성한 박막을 표면에서부터 15분, 30분, 45분 동안 Ar 스퍼터로 식각한 후의 각각의 깊이에 따른 결합에너지 survey scan으로 나타내었다. 박막의 표면에서부터 45분 식각한 표면까지 골고루 C1s 피이크가 285 eV 근처에서 나타나고 있으며, F1s 피이크가 683 eV 근처에서 나타나고 있다. 한편 SiOF 박막과는 달리 528 eV에서 O1s 피이크가 나타나지 않고 있어 박막이 공기중에 노출되었을 때에도 공기중의 O, H와 반응하여 수분을 일으키는 일이 없어 박막의 질이 기존의 SiOF 보다 향상되었음을 알 수 있다. 또한 F의 함량이 증가함에 따라 F1s의 피이크의 intensity가 상대적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. CF_4/CH_4 의 유량비가 7인 박막을 Ar 스퍼터링 하여 얻은 깊이에 따른 C1s 궤도전자 스펙트럼과 F1s 궤도전자 스펙트럼 조금씩 왼쪽으로 shift 되고 있다. 이로써 형성된 FAC 박막이 표면에서부터 조성비가 고르다는 것을 알 수 있다.

Fig 19의 스펙트럼은 CH_4 를 5sccm으로, CF_4 를 35sccm로 증착시킨 FAC 박막을 N_2 분위기에서 300°C와 500°C로 30분간 열처리한 박막의 XPS 스펙트럼을 상온에서 증착시킨 박막과 비교한 것이다. 열처리 온도가 올라감에 따라 F1s peak이 점차로 안정되어 지는데 이러한 결과는 열처리후의 박막의 열적안정성이 열처리 하지 않은 박막보다는 우수하다고 볼 수 있다. 그리고 C1s peak은 열처리에 따라 변화를 보이지 않는데 이것은 C원소는 열처리함에 따라 그 변화를 보이지 않는것인데 이는 C-C의 강한 결합으로 인하여 박막의 구조가 cross-linked한 구조를 갖게 된다고 볼 수 있다.

이러한 결과에서, CF_4/CH_4 의 유량비가 점차 증가할수록 C와 H의 결합이 점차로 C와 F의 결합으로 바뀐다. 그리고, CF_4 의 유량이 증가 할수록 C-F 결합이 증가한다. 많은 C-F 결합은 열적 불안정성을 초래하는데 일러한 C-F 결합은 cross-linked한 구조를 방해하여 결국에 less cross-linked한 구조를 갖게된다. 이러한 결과는 FTIR spectrum의 결과와도 일치한다.

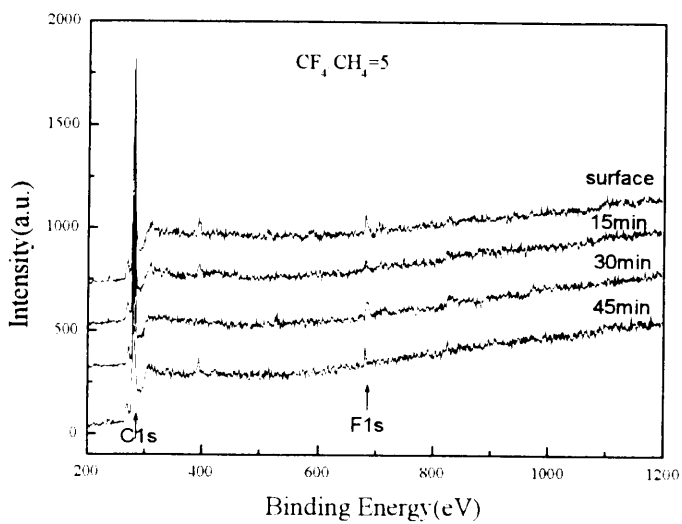


Fig 16. The XPS spectrum of FAC film deposited at $CF_4/CH_4=5$.

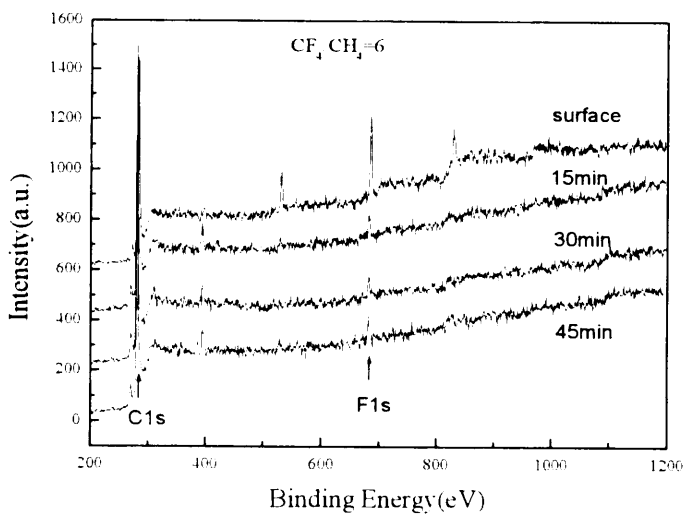


Fig 17. The XPS spectrum of FAC film deposited at $CF_4/CH_4=6$.

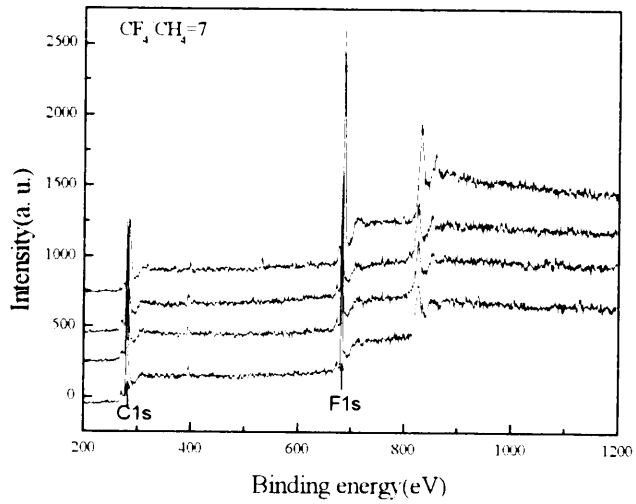


Fig 18. The XPS spectrum of FAC film deposited at $CF_4/CH_4=7$.

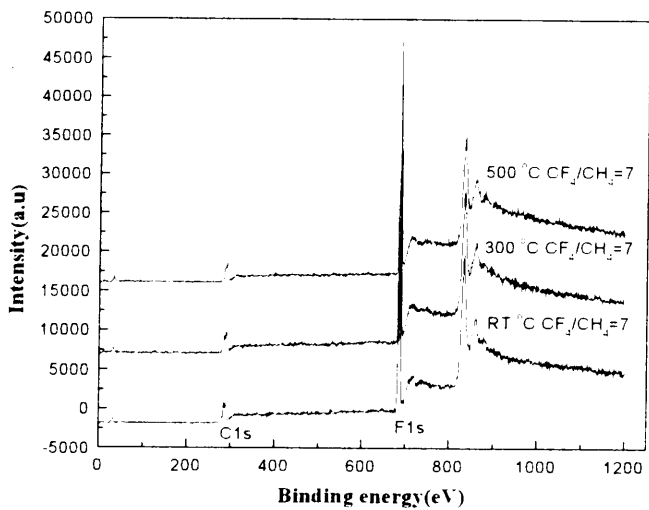


Fig 19. The XPS spectrum of FAC film deposited at $CF_4/CH_4=7$ and after annealed at 300 °C, 500 °C

3. FAC 박막의 전기적 특성

Fig 20는 CF_4/CH_4 의 유량비를 7로 하여 형성된 FAC 박막의 C-V 특성곡선이다. 여기서 rf 출력은 800 W, 200 mTorr의 압력하에서 10분 동안 증착하였다. 형성된 박막의 두께는 SEM과 ellipsometry로 측정한 결과 약 650 Å였다. C-V 측정에서 신호 주파수는 1 MHz, 인가전압은 -15 V에서 +15 V까지 걸어주었다. 측정된 정전용량의 최대값은 84 pF로서 유전상수는 $\epsilon_r = Cd / \epsilon_0 A$ 식으로부터 계산된 값은 2.4로 주어졌다. 이 식에서 C는 측정영역의 최대 정전용량이며, d는 박막의 두께, ϵ_0 는 진공중의 유전 상수, A는 전극의 단면적이다. 이 C-V곡선에서 인가전압이 감소함에 따라 정전용량 값이 작아지는 공핍영역에서 전압 값이 이동하는 이력곡선이 나타났는데 이것은 박막내에 존재하는 분극에 의한 기여화 전자운반자의 주입(injection)에 인한 것이다. 이 이력곡선은 인가전압이 sweep up, sweep down 과정동안 FAC/Si 계면에서 전하가 축적된다. 따라서 계면영역에 존재하는 전하밀도는 $N_i = C\sqrt{V_h} / qA$ 식에 의하여 계산하였다. 여기에서 V_h 는 sweep up과 sweep down에서 일어나는 hysteresis곡선의 전압폭이며 q는 단위 전하량, C는 축적영역의 정전용량이며 A는 전극의 단면적이다. 이 식에서 계산된 전하밀도 값은 $4.8 \times 10^{-15} A/cm^2$ 이었고, 이때의 유전손실은 약 0.16으로 나타났다.

C-V 특성곡선을 통하여 계산되어진 유전상수와 CF_4/CH_4 유량비와의 상관관계를 Fig 22에 나타내었다. 이 그림에서 나타난 바와 같이 유전상수는 2.4에서 3.2까지의 변화를 보였으며 CF_4/CH_4 유량비가 커질수록 증착시 반응에 참여하는 F원자의 상대적인 양이 증가하여 유전상수 값이 작아지는 경향을 보였다. 이는 FTIR 분석결과와 잘 일치하고 있으며 F 원자가 박막내에 도입되므로 하여 유전상수를 감소시키는 역할을 함을 보여준다. 본 실험에서 형성된 시료중 가장 낮은 유전상수 값은 2.4 정도로 매우 낮은 값을 보였다.

Fig 21은 CF_4/CH_4 유량비가 7인 조건하에 형성된 시료에 대한 누설전류와 dielectric breakdown voltage를 조사하기 위하여 측정된 I-V 특성곡선이다. 누설전

류의 밀도는 3 V의 인가전압에서 측정하였다. Fig 21에서 나타난 바와 같이 누설현상은 없었으며 인가전압을 100 V까지 걸어주어도 breakdown 현상이 일어나지 않는 것으로 보아 dielectric breakdown voltage는 10 MV/cm 이상이며, 인가 전압 3 V에서의 누설전류 밀도는 약 7×10^{-12} A/cm² 으로 측정되었다. 이 실험을 통해 얻은 FAC 박막의 누설전류 상태가 양호한 것으로 보아 박막의 결정상태가 양호한 것으로 생각된다.

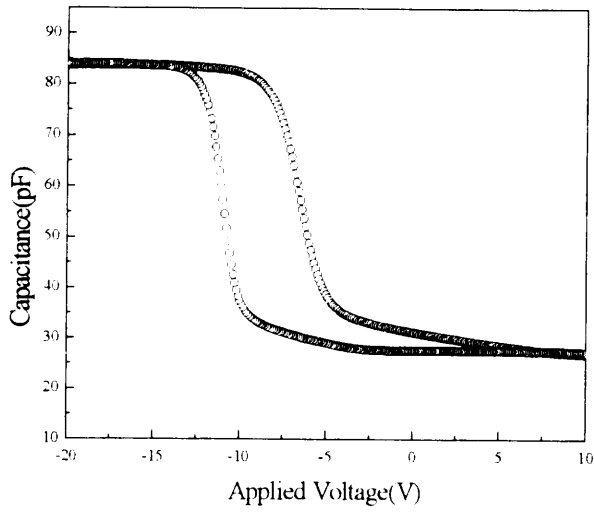


Fig 20. The C-V characteristics of FAC film deposited at CF_4/CH_4 .

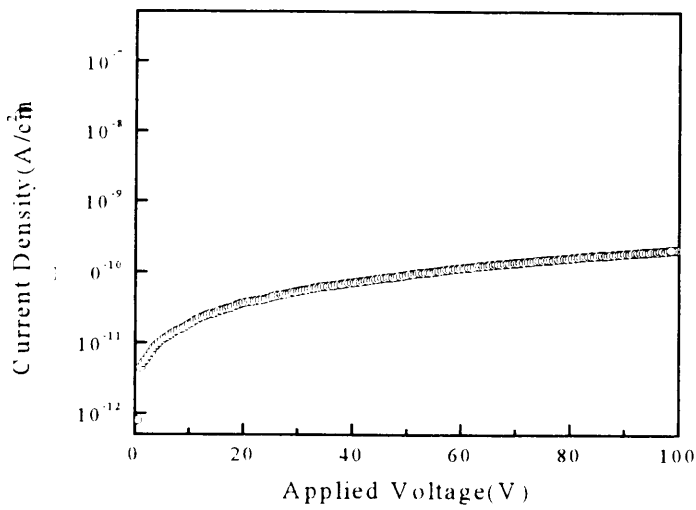


Fig 21. The I-V characteristics of FAC film deposited at $\text{CF}_4/\text{CH}_4=7$.

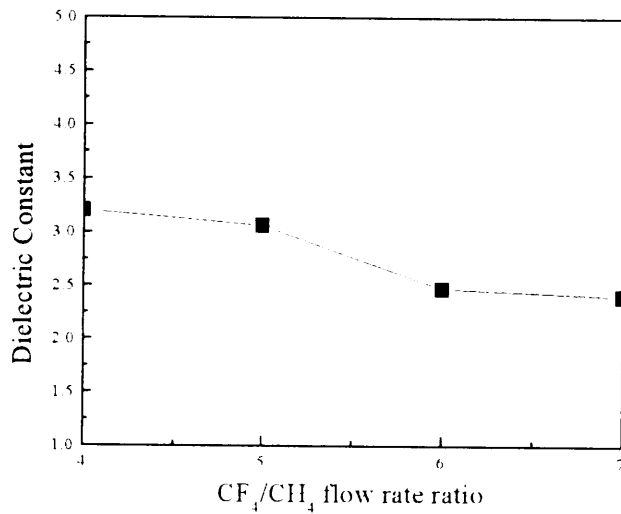


Fig 22. The dependence of the dielectric constant of the FAC film on the CF₄/CH₄ flow rate ratio.

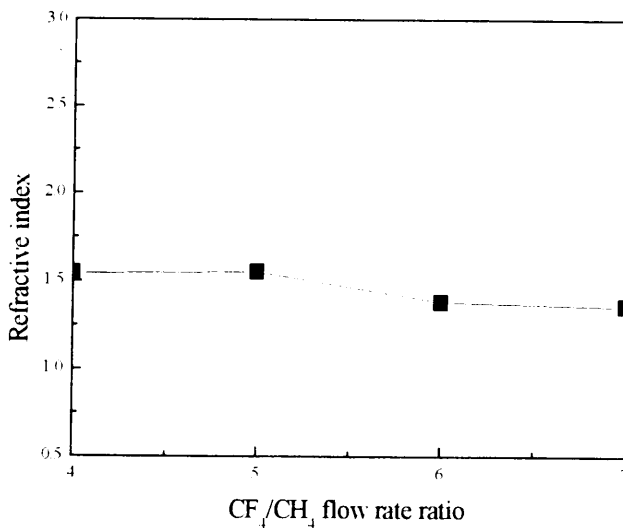


Fig 23. The dependence of the refractive index of the FAC film on the CF₄/CH₄ flow rate ratio.

V. 결론

- 1) 차세대 IMD 물질로써 적용가능성이 있는 FAC film을 CF_4/CH_4 precursor의 유량비를 4에서 7로 변화시키면서 ICP-CVD 방법을 이용하여 증착하였다. 시료 형성시 기판의 온도, gas line 및 반응로의 온도는 모두 RT로 하였다.
- 2) scotch tape test로부터 박막내부에는 수분이 없었다. 이는 형성된 박막의 구조적 안정성을 나타낸다.
- 3) FTIR, XPS 분석으로부터 열처리한 박막의 F의 농도가 열처리 하기 전보다는 줄어들어 박막의 열적 안정성이 열처리 하지 않은 박막 보다는 열처리한 박막이 더욱 우수할 것으로 기대된다. 이는 박막의 구조가 열처리한 후에 less cross linked 한 구조로 바뀌는 것을 의미한다.
- 4) CF_4/CH_4 의 유량비가 증가할수록 박막의 유전상수값은 작아진다. 그러나 CF_4/CH_4 의 유량비가 아무리 증가하여도 더 이상 유전상수값이 변화가 없는 임계점이 존재한다. 형성된 박막의 최소 유전상수 값은 2.4였다.
- 5) 이러한 결과로부터 형성된 박막은 차세대 $0.18\mu m$ 이하의 소자에 적용가능성이 높다.

VI. 참고문헌

- M. B. Anand, T. Matsuno, H. Shibata, M. Kakumu, K. Mori, K. Otsuka, M. takahashi, N. Kodera, K. Itoh and R. Aoki. "Fully intergrated back end of the line. interconnect for high performance ULSI" ISMIC, p.15-21, June 1994.
- R. Wall, B. Lowe, M. Phillips. " A low cost 0.7 micron triple level metal interconnect process for advanced BICMOS technology" ISMIC, p.29-35, June 1994.
- S. Matsuo and M. Kiuchi " Low temperature Chemical Vapor Deposition Method Utilizing an Electron Cyclotron Resonance Plasma" Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 22, No.4, p. L210-L212. April 1983.
- T. Homma, Y. Kutsuzawa, K. Kunimune and Y. Murao " Stability of a new polyimide siloxane film as interlayer dielectrics of ULSI multilevel interconnections" Elsevier sequoia, p.80-85, 1993.
- G. Lucovsky, M. J. Manitini, J. K. Srivastava and E. A. Irene " Low temperature growth of silicon dioxide films : A study of chemical bonding by ellipsometry and infrared spectroscopy " J. Vac. Sci. Technol. B 5(2) p.530-532, Mar/Apr.
- F. Pintchovski " Progression of Multilevel Metallization Beyond 0.35 micron Technology "
- A. Verma, T. Guo, B. Cohen, H. Tran, P. Lee, R. Mosely, and B. Nguyen " Process Integration of Low Dielectric Constant Fluorine Doped PECVD silicon Oxide Thin Films with Interconnection Metalization " ISMIC, p.141-143, June 1995.
- K. Kim, Y. H. Lee, and N. H. Park, " Deposition of thermally stable, low dielectric constant fluorocarbon/SiO₂ composite thin film. " Appl. Phys.

- Lett, 69(18), p2776-2778(1996)
- R. K. Laxman " Low ϵ Dielectric : CVD Fluorinated Silicon Dioxides "
- Z. Yuan, C. Fisher, W. J. Schaffer and L. D. Bartholomew " Low - Temperature Atmospheric Pressure CVD of Fluorosilicate Glass Thin Film " ISMIC, p. 152, June, 1995.
- R. P. H. Chang, C.C. Chang and S. Darack " Fluorine enhanced plasma growth of native layers on silicon " Appl. Phys. Lett, 36(12), p999-1000, June 1980.
- K. Endo and T. Tatsumi, J. Appl. Lett, 78, 1370(1995).
- Hongning Yang, Douglas J. Tweet, Yanjun Ma, and Tue Nguyen, Appl. Phys. Lett, Vol. 73, 11, p1514-1516, 14 September 1998.
- K. Kim, D. H. Kron, G. Nallapati, and G. S. Lee, J. Vac. Sci. Technol, A 16(3), p1509-1513, May/June 1998.
- Haruo Yokomichi, Tohru Hayashi, and Atushi Masuda, Appl. Phys. Lett, Vol. 72, No. 21, p2704-2706, 25 May 1998.
- Kazuhiko Endo, Toru Tasumi, and Yoshihisa Matsubara, Appl. Phys. Lett, 70(9), p1078-1079, 3 March 1997.
- D. Wang, K. Pang, A. Khan, S. Schmitz, S. Fisher, J. Foggiano, B. Shin " Current Technology of APCVD TEOS/Ozone Silicon Oxide " ISMIC, p. 135-137, June 1995.
- Yanjun Ma and Hongning Yang, Appl. Phys. Lett, Vol. 72, No. 25, p3533-3555, 22 June 1998.
- Sang-Soo Han, Hun Rae Kim, Byeong-Son Bae, " Deposition of Fluorinated Amorphous Carbon Thin Film as a Low-Dielectric-Constant Material " J. Electro. Society, Vol. 146(9), p3383-3383, 1999.
- H. Yokomichi, T. Hayashi, and A. Masuda, " Changes in structure and nature of defects by annealing of fluorinated amorphous carbon thin films with low dielectric constant ". Appl. Phys. Lett, Vol(21), p2701-2706(1998).
- D.S.Kim, Y. H. Lee, and N. H. Park, " Deposition of thermally stable, low

- dielectric constant fluorocarbon/SiO₂ composite thin film " Appl. Phys. Lett, 69(18),p2776-2778(1996).
- A. Tisser, J. Schmitz, H. Banvillet, C. Besset, M. Brenier, V. Cali, B. Descouts, Y. Dodo, F. Dubail, J. Harmant, S. Hubac, L. Liauzu, E. Martinez, P. Meyer, G.Pares, E. Urzi and M. Vernet " Planarization of pre-metal and metallevels for 0.5 μ m and 0.35 μ m logic CMOS Process " Materials Research Society. P341-350,1995.
- C. H. Ting, J. Lue, J. K. Lee, J. Kasthurirangan, C. N. Liao, P. S. Ho " A Strategy to Accelerate the Implementation of Low KId Materials in ULSI Interconnection " Materials Research Society, p351-360, 1995.
- Tetsuay Homma " Low dielectric constant materials and methods for interlayer dielectric films in ultralarge-scale integrated circuit multilevel interconnectins " Reports : A review journal . Material. Science and Engineering, R23, p243-285, 1998.
- J. Schlote, E. Bugiel, J. Arndt, G. Wahl, " SiO₂ Films from Tetrathoxysilane-Based PCVD : An Experiment Investigated of the By-Product-Inhibited Deposition Mechanism " J. Electro. Society. Vol 146(9).p3414-3419, 1999.
- T.E. F. M. Standaert, P. J. Matsuo, S. D. Allen, and G. S. Oehrlein, " Patterning of fluorine-, hydrogen-, and carbon-containing SiO₂-like low dielectric constant materials in high-density fluorocarbon plasma: Comparison with SiO₂ ", J. Vac.Sci. Technol. A 17(3), May/jun 1999.
- A. Grill, V. Patel, " Low dielectric constant film prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition from tetramethylsilane ", J. Appl. Phy. Vol85. Num 6.p3314-3318, 1999.
- 최치규, 이광만, 오상식, 이정용, 1995. CVD 방법에 의한 저유전율 박막 형성 기술 연구. 한국 전자 통신 연구소 연구결과 보고서, p. 47~139.
- Fukuyama, Y.Nakata, and M. Kobayashi, in Pro. 1st Int. Dielectrics for

VLSI/ULSI Multilevel interconnection Conf.(1995)p.80

Brett Cruden, etc, Thermal Decomposition of Low Dielectric Constant Pulsed Plasma Fluorocarbon Films. Journal of The Electrochemical Society. (1999.12)p. 4590-4596

