

CHF₃/CF₄를 사용한 콘택 산화막 식각

논 문
8-6-13

Contact Oxide Etching using CHF₃/CF₄

김창일*, 김태형**, 장의구***

Chang-II Kim, Tae-Hyung Kim, Eui-Goo Chang

Abstract - Process optimization experiments based on the Taguchi method were performed in order to set up the optimal process conditions for the contact oxide etching process module which was built in order to be attached to the cluster system of multi-processing purpose.

In order to compare with Taguchi method, the contact oxide etching process carried out with different process parameters(CHF₃/CF₄ gas flow rate, chamber pressure, RF power and magnetic field intensity). Optimal etching characteristics were evaluated in terms of etch rate, selectivity, uniformity and etched profile.

In this paper, as a final analysis of experimental results the optimal etching characteristics were obtained at the process conditions of CHF₃/CF₄ gas flow rate = 72/8 sccm, chamber pressure = 50 mTorr, RF power = 500 watts, and magnetic field intensity = 90 gauss.

Key Words(중요용어): Cluster system(클러스터 시스템), Multi-processing(복합 공정), Process optimization(공정 최적화), Etch rate(식각율), Selectivity(선택비)

1. 서 론

ULSI(ultra large scale integration) 시대에 접어들면서 플라즈마를 이용한 건식 식각공정은 그 중요성이 증대되고 있다. 특히 집적회로의 박막 두께와 선폭이 감소되고, 소자의 구조가 복잡해지면서 플라즈마로 인해 발생하는 이방성 식각, 선택적 식각, 선폭의 제어, 균일성 및 표면의 손상 정도와 오염등이 점점 더 엄격하게 요구되고 있다.^{1,2)}

플라즈마를 이용한 건식 식각공정이 1970년대 초 개발되어 반도체 제조공정으로 각광을 받기 시작한 이래 많은 공정 및 소자 설계자들에 의해 주목을 받아 왔으나, 플라즈마의 상태와 이에 의한 표면의 반응 현상이 아직 충분히 규명되지 못하고 있기 때문에 적절한 후보기술이 대두되지 못하고 RIE(reactive ion etching), ECR(electron cyclotron resonance), MERIE(magnetic enhanced reactive ion etching)등이 현재 반도체 제조라인에서 널리

활용되고 있고, 최근에는 ICP(inductive coupled plasma), TCP(transfer coupled plasma)등이 주목을 받기 시작하고 있다.^{1,2)}

본 연구에서는 MERIE형 산화막 식각공정 모듈에 대하여 적정 공정 조건을 효율적으로 확립하기 위하여 다구찌 방법을 이용하여 실험 계획을 수립하여 수행하였고 측정된 데이터를 분석하였다. 또한, 비교를 위하여 장비변수 변화에 따라 공정변수에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 반응로의 구성

MERIE형의 건식 식각장치는 플라즈마 형성에 자계와 RF 전원을 이용하는 방식이다. 플라즈마는 자계 내에 포획되어 방전 효율이 높아 고진공에서 고밀도 플라즈마의 생성이 가능하다. 따라서 고진공 하에서도 높은 식각속도를 얻을 수 있고, 입사 이온과 중성원소의 충돌확률이 감소하여 이방성 식각이 가능하다. 한편 RF 전원에 의해 충돌이온의 에너지를 독립적으로 조절이 가능하여 서브 마이크로 소자 제작에서 그 비중이 커지고 있는 식각 손상을 줄일 수 있다. 그림 1은 MERIE형 식각기의 반응로 구성도를 나타낸다.

*: 안양대 전기공학과

** : 여주전문대 전기과

***: 중앙대 전기공학과

접수일자 : 1995년 5월 17일

심사완료 : 1995년 6월 29일

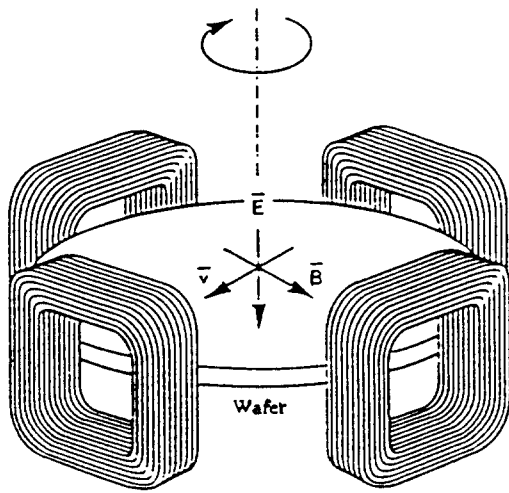


그림 1. MERIE형 건식식각기의 반응로 구성도
 Fig. 1. Electromagnetic field coupling configuration of etch chamber of MERIE type.

3. 실험방법

3-1. 다구찌 방법

실험계획 수립 및 측정 데이터 분석은 다구찌 방법을 통하여 수행되었다.^{3,4,5)} 식각공정의 특성 및 성능의 척도로서의 주요 식각특성은 식각율(etch rate), 포토레지스트와의 선택비(selectivity), 균일도(uniformity), 식각 형상(etched profile)등 4가지로 제한하였고, 이들을 변화시킬 장비 변수로서는 CHF₃/CF₄ 가스 유량비, 반응로 압력, RF 전력, 자장의 4가지로 설정하였으며, 각 요인마다 수준(level)의 수는 3 수준으로 하였다. 총 가스 유량은 80 sccm, 캐소드 온도는 20℃, 반응로 벽의 온도는 40℃로 고정하였고, 웨이퍼 뒷면의 냉각을 위하여 헬륨 압력은 6 Torr로 고정하였다.

최소의 실험 횟수를 유지하면서 상기와 같은 실험을 수행할 수 있는 경우는 다구찌 실험표 L9 이었다. L9 은 변수가 4개이고, 수준 수가 3인 경우의 다구찌 실험방법의 명칭이며, 따라서 본 실험에서는 L9 직교배열에 의해 총 9회를 실시하였다.^{3,4,5)}

3-2. 장비 변수

식각공정의 특성 및 성능의 척도로서 주요 식각 특성으로 식각율(etch rate), 선택비(selectivity), 균일도(uniformity) 및 식각형상(etched profile) 등의 4가지로 제한 하였고, 이를 변화 시킬 주요 장비변

수로서는 CHF₃/CF₄의 가스 유량비(gas flow rate), 반응로의 압력(chamber pressure), RF 전력(RF power), 자장의 세기(magnetic field intensity)의 4가지로 설정하였다.^{6, 7)} 이들 장비 변수의 변화에 따른 식각특성에 미치는 영향을 고찰 하였다.

웨이퍼마다 식각 전 후의 산화막과 PR의 두께를 두께 측정 장비인 MPV-SP(Leitz 사)로 다섯군데씩 측정하여 단위 시간당 식각율, 선택비 및 균일도를 구하였고, 식각형상은 SEM(scanning electron microscope)으로 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 다구찌 방법

표 1은 L9 직교배열에 의해 실시된 다구찌 실험에 대한 각 요인별 수준을 나타내었다. 그림 2는 인자의 효과에 대한 그래프이다.⁵⁾ 그림 2에서 보면 식각율에는 RF 전력과 자장이 상대적으로 영향을 크게 미치고, 균일도에는 반응로의 압력과 RF 전력이, 그리고 선택비에는 가스 조성과 자장이, 식각형상에는 RF 전력의 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

표 1. 각 요인별 수준

Table 1. Control factors and their levels.

Factors	Levels			Levels		
	1	2	3	1	2	3
CF ₄ gas concentration(%)	Co 5	Co	Co·5	10	15	20
Chamber Pressure(mTorr)	Po·20	Po	Po·20	30	50	70
RF Power(W)	Wo	Wo·100	Wo·200	400	500	600
Magnetic Field(G)	Bo·50	Bo·30	Bo	40	60	90

본 연구에서는 적정 콘택 산화막 식각공정 조건으로서 목표 규격을 식각율은 300 nm/min 이상, 포토레지스트와의 선택비는 5 이상, 균일도는 ± 5% 이내, 식각 형상은 76° 이상 80° 미만으로 하였다. 따라서 목적함수의 정의^{3,4,5)}에 따라 η는 69.54 이상, η'는 31.48 이상, η''는 13.98 이상이 요구되고 P는 37.62 - 38.06 사이의 값이 요구된다.⁵⁾

앞에 언급한 주요 식각특성들의 목표규격에 따라 장비변수들의 최적수준을 설정하고자 하였는데, 그림 2에서 η''는 모든 장비변수 수준에서 만족하므로 따로이 특정 수준을 선정할 필요가 없었고, 식각형상 측면에서는 RF 전력이 너무 낮거나(C1), 너무 높지만(C3) 않으면 무방하였다. 균일도 측면에서는 반응로의 압력에서 B2가 좋았고, 식각율 측면에서는 RF 전력이 높을수록, 자장이 높을수록 유리하였다. 결국 가스 조성은 본 실험의 범위

에서는 어느 수준도 상관은 없으나, 가급적 선택비가 높게 나타나는 A1으로 결정하였고, 반응로의 압력은 균일도 측면을 고려하여 B2, RF 전력은 식각 형상을 고려하여 C2, 자장은 식각율을 고려하여 D3로 결정하였다.

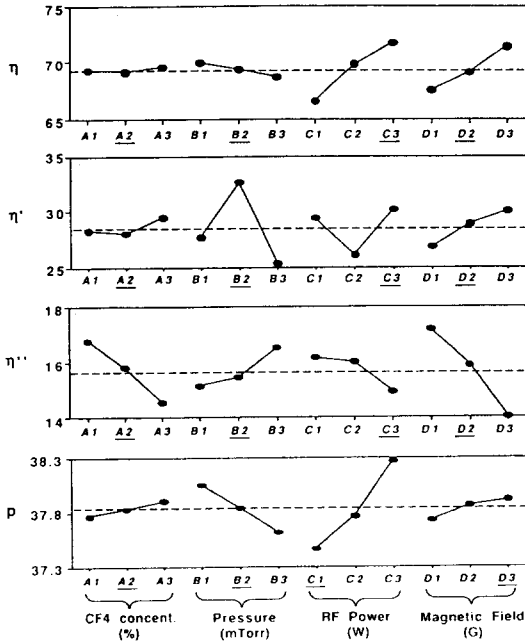


그림 2. 인자효과에 대한 그래프
Fig. 2. Plots of factor effects.

그림 3은 최적 식각 조건으로 실제 식각 실험을 수행한 결과 단면 SEM 사진을 보였다. 그림 3의 SEM 사진은 positive slope으로 80° 정도의 양호한 식각 profile을 보였다.

4-2. 장비 변수

4-2-1. 가스 유량비

가스 유량비가 공정변수에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 자장의 세기는 50 가우스, RF전력은 500 와트, 반응로의 압력은 50 mTorr로 고정하였고, 가스 유량비(gas flow rate)는 CHF₃/CF₄=72/8, 48/8, 24/8 sccm로 설정하여 식각하였다.

그림 4는 가스 유량비의 변화에 따른 식각율과 선택비를 나타내었다. 그림 4에서 CHF₃의 비가 높아짐에 따라 식각율은 감소하였고, CHF₃/CF₄의 비가 24/8sccm에서 식각된 시료가 350 nm/min로 가장 크며, 선택비는 72/8sccm에서 식각된 시료가 5.6:1로 가장 크게 나타났다.

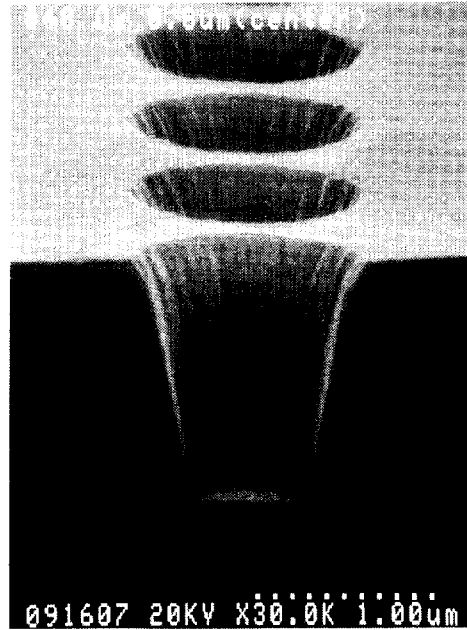


그림 3. 최적조건으로 식각된 콘택 산화막의 SEM 단면 사진(가스 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF 전력=500 W, 자장의 세기=90 Gauss, 반응로 압력=50 mTorr)

Fig. 3. SEM photograph of the etched contact oxide by the optimum process condition(gas CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF power=500 watts, magnetic field intensity=50 gauss, chamber pressure=50 mTorr).

가스 유량비의 변화에 따른 균일도와 식각형상은 CHF₃의 비가 낮아짐에 따라 균일도는 48/8sccm에서 식각된 시료가 4.3%로서 가장 양호하며, 식각형상은 모든 시료에서 목표 규격 범위 내에 들었다.

이는 CHF₃의 flow rate가 감소함에 따라 산화막 식각율이 증가한다. C/F ratio 증가에 따라 폴리머(polymer)의 두께가 증가한다고 알려져 있고^{8,9)}, 따라서 산화막과 PR의 식각율은 증가하나, C/F ratio 따라 PR 식각율의 변화가 크다. 이는 산화막 식각에 의해 oxygen이 생성되고, CO₂, COF₂등으로 제거되기 때문에 산화막 위에서는 폴리머가 극히 얇게 형성된다. 또한 PR의 경우, C, H로 구성되어 폴리머가 제거될 oxygen 성분이 없기 때문에 폴리머 형성이 산화막에 비해서 용이하여 선택비(selectivity)가 감소한다고 생각된다.

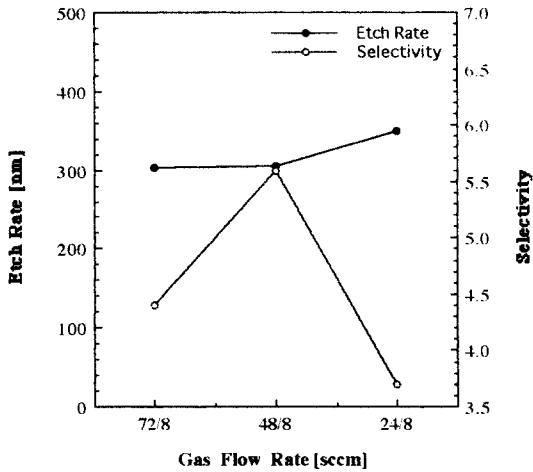


그림 4. 최적조건으로 식각된 콘택 산화막의 SEM 단면 사진(가스 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF 전력=500 W, 자장의 세기=90 Gauss, 반응로 압력=50 mTorr)

Fig. 4. SEM photograph of the etched contact oxide by the optimum process condition(gas CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF power =500 watts, magnetic field intensity=50gauss, chamber pressure=50 mTorr).

4-2-2. 자장의 세기

자장의 세기가 공정변수에 미치는 영향은 가스 유량은 CHF₃/CF₄=72/8 sccm. RF 전력은 500 와트, 반응로의 압력은 50 mTorr로 고정하였고, 자장의 세기는 0, 30, 60 및 90 가우스로 변화하면서 식각하여 결과를 고찰하였다.

그림 5는 자장의 세기의 변화에 따른 식각율과 선택비를 나타내었다. 그림 5에서 자장의 세기가 증가함에 따라 식각율은 선형적으로 증가하였고, 90 가우스에서 식각된 시료가 379 nm/min으로 가장 크며, PR과의 선택비는 5.9:1을 나타내었다.

이는 자장의 증가에 따라 플라즈마가 제한(confine)되어 플라즈마 밀도가 증가하고 etching species 증가로 이온 충돌 횟수가 증가하여 식각율이 증가한다고 생각된다. 선택비는 자장 증가에 따라 감소하다가 60 가우스에서 다시 증가한다. 이는 60 가우스까지는 자장의 증가에 따라 플라즈마 밀도가 증가하기 때문에 PR 식각율이 증가하다가 그 이상에서는 플라즈마 밀도가 포화되어 식각율이 포화하기 때문에 다시 선택비가 증가한다고 생각된다.

자장의 세기의 변화에 따른 균일도와 식각형상은 90 가우스에서 식각된 시료에서 균일도는 3.5%로 가장 양호하게 나타내었다. 또한 식각형상은 모든 시료에서 목표 규격범위를 만족 시켰다.

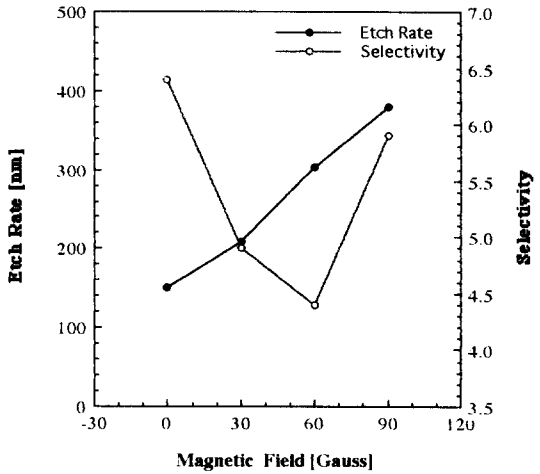


그림 5. 가스 유량비의 변화에 따른 식각율과 선택비

Fig. 5. Etch rate and selectivity for different gas flow rate.

4-2-3. RF 전력

RF 전력이 공정변수에 미치는 영향은 가스 유량비는 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, 자장의 세기는 50 가우스, 반응로의 압력은 50 mTorr로 고정하고, RF 전력을 400, 500 및 600 와트로 변화시키면서 식각하여 결과를 고찰하였다.

그림 6은 RF 전력 변화에 따른 식각율과 선택비를 나타내었다. 그림 6에서 RF 전력이 증가함에 따라 식각율은 증가하는 반면에 선택비는 낮아짐을 보였다. 또한 RF 전력이 400 와트에서 식각된 시료에서는 식각율이 224 nm/min으로 낮고, 500와트와 600와트에서 식각된 시료에서는 선택비가 각각 4.4, 4.1로 낮게 나타내었다.

RF 전력의 변화에 따른 균일도와 식각형상은 600 와트에서 식각된 시료에서 균일도는 3.2%로 양호하게 나타났고, 식각형상은 모든 시료에서 목표 규격을 만족하였다.

RF 전력 증가에 따라 산화막 식각율이 증가하는데 산화막은 단단한 물질이므로 물리적 요인(physical factor)에 크게 의존하기 때문에 RF 전력 증가에 따라 증가하고, PR은 화학적 요인(chemical factor)과 물리적 요인(physical factor)

에 동시에 의존하므로 RF 전력이 증가하여도 PR 식각율이 증가하지 않기 때문에 선택비는 감소한다고 생각된다.

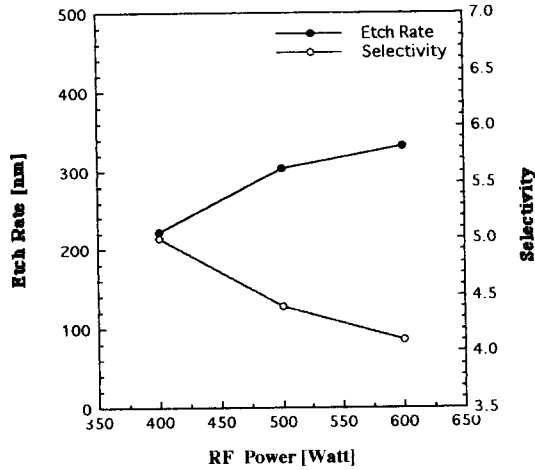


그림 6. 자장의 세기 변화에 따른 식각율과 선택비

Fig. 6. Etch rate and selectivity for different magnetic field intensity.

4-2-4. 반응로의 압력

반응로 압력이 공정변수에 미치는 영향은 가스 유량비를 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, 자장의 세기는 50 가우스, RF 전력은 500 와트로 고정하고, 반응로의 압력을 30, 50, 100 및 200 mTorr로 변화시키면서 식각된 결과를 고찰하였다.

그림 7은 반응로의 압력의 변화에 따른 식각율과 선택비를 나타내었다. 그림 7에서 반응로의 압력 증가에 따라 식각율은 50 mTorr까지 증가하여 302 nm/min으로 가장 크고, 이후 압력이 증가함에 따라 식각율은 감소하였다. PR과의 선택비는 50 mTorr에서 식각된 시료에서 4.4:1로 가장 낮게 나타내었다.

반응로의 압력의 변화에 따른 균일도와 식각형상은 50 mTorr에서 식각된 시료에서 균일도가 5.9%로 높게 나타나지만, 반응로의 압력 변화시키면서 식각된 시료에서 식각율이 300 nm/min을 넘는 시료는 50 mTorr에서 식각된 시료 밖에 없었다. 따라서 반응로의 압력은 50 mTorr가 적정 조건이라고 생각된다.

반응로의 압력이 낮을수록 DC bias는 커지고, 평균자유행정(mean free path)이 길어지므로 식각율이 증가하는 반면, 50 mTorr 이상에서는 산화막

식각율이 감소하는데 이는 DC bias 감소에 기인하여 식각율이 감소한다고 생각된다. 또한 200 mTorr 이상에서는 식각율이 너무 낮아 throughput이 좋지않다고 생각한다.

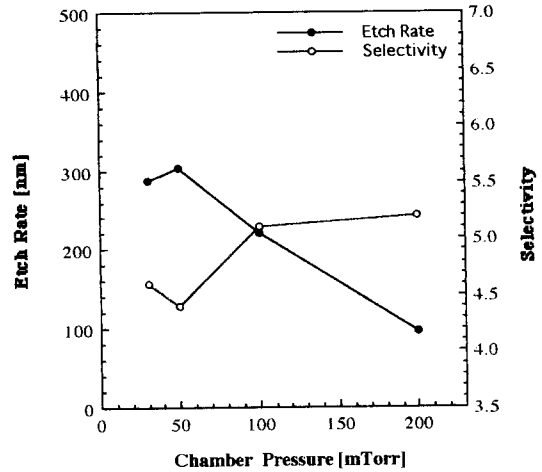


그림 7. RF 전력의 변화에 따른 식각율과 선택비

Fig. 7. Etch rate and selectivity for different RF power.

이상의 실험 결과를 토대로 식각율 300 nm/min, 선택비 5:1 이상, 균일도 ±5% 이상, 식각 형상 75° 이상 80° 이하의 공정 목표 규격에 적합한 최적 공정 조건을 도출하였으며, 그 최적조건은 가스 유량비는 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF 전력은 500 와트, 자장의 세기는 90 가우스, 반응로의 압력은 50 mTorr 임을 알았다. 이런 최적공정 조건으로 식각된 시료의 SEM 단면 사진을 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 SEM 사진은 positive slope으로 80° 정도의 양호한 식각 profile을 보였다.

5. 결 론

MERIE형 산화막 식각공정 모듈에 대하여 적정 공정조건을 효율적으로 확립하기 위하여 다구찌 방법을 이용하여 실험을 수행하였고, 비교를 위하여 장비 변수 변화에 따라 공정변수에 미치는 영향을 고찰하였다.

최적조건은 가스 유량비는 CHF₃/CF₄=72/8 sccm, RF 전력은 500 와트, 자장의 세기는 90 가우스, 반응로의 압력은 50 mTorr 임을 알았다.

이러한 최적 공정 조건으로 식각한 결과 식각율은 300 nm/min, 선택비는 5:1, 균일도는 5%, 식각형상은 80° 를 나타내어 우수한 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

1. H. Gei, O. Sunei, "Etching 장치" 월간 semiconductor world, (1993. 6.) pp.146-152
2. N. Shou, "Dry etching 장치" 월간 semiconductor world, (1992. 6.) pp.166-170
3. M. S. Phadke, "Quality Engineering using Robust Design", Prentice Hall, New Jersey, (1989)
4. G. Taguchi, "System of Experimental Design", Kraus International Publications, New York, (1987)
5. 전영진, 김창일, 구진근, 유형준, " Taguchi 방법을 사용한 콘택 산화막 식각 공정 최적화 연구" 한국재료학회지, Vol. 5, No. 1, pp. 63-74, 1995.
6. Ch. Steinbruchel, H. W. Lehman and K. Frick, "Mechanism of Dry Etching of Silicon Dioxide", J. Electrochem. Soc., Vol. 132, No. 1, pp.180-186, 1985.
7. G. S. Oehrlein, Y. Zhang, D. Vender and O. Joubert, "Fluorocarbon High-Density Plasmas. II. Silicon Dioxide and Silicon Etching using CF_4 and CHF_3 ", J. Vac. Sci. Technol., A 12(2), pp.333-344, 1994.
8. J. Hashimoto, Y. Miyakawa, N. Ikegami and J. Kanamori, "Silicon 산화막 식각과 첨가가스의 영향", 월간 Semiconductor World, (1993. 1) pp.135-139.
9. N. Ikegami, N. Ozawa, Y. Miyagawa and J. Kanamori, "Mechanism of Silicon Oxide Etching in a Highly Polymerized Fluorocarbon Plasma", Proc. SPIE., Vol. 1593, Dry Etching Technology, (1991) pp.161-171.

저자소개



김창일

1960년 7월 13일생. 1984년 중앙대학교 공대 전기공학과 졸업. 1986년 2월 중앙대학교 대학원 전기공학과 석사. 1993년 2월 동 대학원 전기공학과 공학박사. 1993년 11월~1995년 2월 전자통신연구소 Post-Doc. 현재 안양대학교 전기공

학과 전임강사.



장의구

1943년 3월 9일생. 1972년 중앙대학교 공대 전기공학과 졸업. 1975년 2월 중앙대학교 대학원 전기공학과 석사. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과(공학박). 1987년 1월~88년 1월 Arizona주립대학 연구교수. 현재 중앙대학교 공대 전기공학과 교수.



김태형

1963년 2월 25일생. 1985년 중앙대학교 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 석사. 1993년 동 대학원 전기공학과(공학박). 현재 여주전문대 전기과 조교수.