

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

• 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건 을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer 🖃





공학전문석사 학위 연구보고서

저손실 고주파 유전소재의 식각 공정 최적화에 관한 연구

Optimization of Etching Process for Low Loss and High Frequency Genetic Materials

2021 년 2 월

서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 응용공학전공 홍승만

저손실 고주파 유전소재의 식각 공정 최적화에 관한 연구

지도 교수 유 웅 열

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함 2021 년 2월

> 서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 응용공학전공 홍승만

홍승만의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함 2021 년 2월

> 위원장 <u>35 개도 (10)</u> 위원 <u>약 등 및</u> 위원 <u>차</u> 글

국문초록

고주파 영역대의 통신 칩(Radio Frequency System In Package)의수요가 급격하게 증가하고 있다. 이에 따라 주파수간의 잡음(noise)을줄이기 위한 저손실 고주파 유전소재의 중요성이 커지고 있다.특히, 소재의 변화된 특성에 따른 반도체 기판 제조 과정상의 문제점을파악하는 것이 중요한 이슈로 등장하고 있다. 이에 본 연구에서는반도체 기판의 가장 큰 신뢰성 항목 중 하나인 비 관통 구멍(via hole)바닥 부위의 수지(resin) 남음 불량이 왜 발생하는지에 대한메커니즘(mechanism)을 연구하고 그 결과에 따른 제거 방안을도출하여 신뢰성 불량을 원천적으로 제거할 수 있는 방법을 연구하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 기존 소재와 저손실 고주파 유전 소재(low Dk&Df)의 소재특성이 건속(dry) 및 습식(wet) 식각(etching)공정에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

이를 위해 먼저 소재의 분자 구조상의 차이를 분석하였고 건식/습식 식각 공정시의 소재의 반응성에 대한 이론적 연구를 수행하였다. 식각 공정으로는 플라즈마와 과망간산을 이용한 건식/습식 식각 공정을 대상으로 하였다. 식각 공정의 정량화를 위해 식각 공정 전/후의 비 관통홀이 형성된 시편의 홀속 깊이를 측정하여 수지 잔량을 평가하였다. 실험 결과 유전소재를 구성하는 수지에 따라 약품(chemical)과 플라즈마(plasma)에 대한 방응성이 다르다는 것을 알 수 있었다. 또한, 소재와 식각 공정 변수를 인자/수준별화하여 식각 공정 결과를 정량화하여 이론의 타당성을 검증하였다.

마지막으로 수지 잔량과 비 관통홀 크기를 종속변수, 건식/습식 식각량을 독립변수로 설정하여 표면반응 실험을 수행하여 최적의 식각 공정을 설계하였다. 주요어: 저손실 고주파 유전소재, 건식/습식 식각 공정, 건식(Plasma)/습식(과망간산)식각 수지(Resin), 글라스수지(Prepreg)

학 번:2019-26026

목 차

제 1 장 서론1
제 1 절 연구배경1
제 2 절 연구내용2
제 3 절 절연 소재의 특성 비교3
제 4 절 식각(etching)이론7
1. 반도체 기판 제조 공정의 흐름
2. 건식 식각 공정 메커니즘
3. 습식 식각 공정 메커니즘
제 2 장 절연 소재의 특성 파악12
1. 접촉각 비교 분석
2. 식각 공정에서의 식각량 분석
제 3 장 식각 공정 실험 설계 및 해석20
제 1 절 인자 수준별 비교 실험20
1. 인자 상관성 실험 계획법
2. 건식 공정의 조건별 식각량
3. 습식 공정의 조건별 식각량
제 2 절 최적 조건 실험 해석29
제 2 절 최적 조건 실험 해석29 1. 표면반응 실험 계획법
1. 표면반응 실험 계획법
1. 표면반응 실험 계획법 2. 규격을 반영한 수지 남음 해석

참고문헌	46
Abstract	48

표 목차

[丑	1-1]	수지(Resin)에 따른 열적, 전기적 특성4
[丑	2-1]	건식식각 전/후 소재별 접촉각 비교16
[丑	2-2]	습식식각 조건표16
[丑	2-3]	건식식각 조건표16
[丑	2-4]	식각량(Etchrate)측정법 비교19
[丑	2-5]	소재별 식각타입에 따른 식각량(Etchrate)비교 20
[丑	3-1]	건식/습식식각 인자수준별 상관성 실험계획표 22
[丑	3-2]	건식에칭 처리시간에 따른 소재별 식각량23
[丑	3-3]	건식에칭 CF4 가스농도에 따른 소재별 식각량 24
[丑	3-4]	건식에칭 O2 가스농도에 따른 소재별 식각량 25
[丑	3-5]	건식에칭 N2 가스농도에 따른 소재별 식각량 26
[丑	3-6]	습식에칭 처리시간에 따른 소재별 식각량27
[丑	3-7]	습식에칭 망간 농도에 따른 소재별 식각량 28
[丑	3-8]	습식에칭 망간 온도에 따른 소재별 식각량 29
[丑	3-9]	반도체 기판 제품 규격31
[丑	3-10] 최적구간 확인을 위한 실험계획표32
[丑	3-11] 건식/습식 식각량별 최적 구간35
[丑	3-12] 측정값 및 인자 수준 범위38
[丑	3-13] 식각량별 최적 결과값43

그림 목차

[그림	1 - 1]	반도체 기판의 절연 충(Prepreg) 내부 구조도
		(SEM image)
[그림	1-2]	소재에 따른 수지(Resin)분자 구조도4
[그림	1 - 3	소재에 따른 반도체 기판 제작 후 수지 남음 관찰
		(SEM image) 5
[그림	1 - 4]	
		(SEM image)
[그림	1-5]	반도체 기판 제조 공정 7
[그림	1-6]	진공 플라즈마 장비 구성도9
[그림	1-7]	스웰링(Swelling) 메커니즘(Mechanisims) 11
[그림	1-8]	과망간산 에칭(Permagnate Etching)
		메커니즘(Mechanisims)11
[그림	2-1]	접촉각(Contact Angle)에 의한 구분12
[그림	2-2]	접촉각(Contact Angle) 측정기13
[그림	2-3]	건식식각전 소재별 접촉각 비교 분석
		(Minitab분석) 14
[그림	2-4]	건식식각후 소재별 접촉각 비교 분석
		(Minitab분석) 15
[그림	2-5]	습식식각 실험 방법17
[그림	2-6]	건식식각 실험 방법18
[그림	2-7]	소재별 습식식각량 비교 분석(Minitab분석) 19
[그림	2-8]	소재별 건식식각량 비교 분석(Minitab분석) 20
[그림	3-1]	건식식각(Plasma)처리시간에 따른 식각량 23
[그림	3-2]	
[그림	3 - 3	건식식각(Plasma)O ₂ 농도에 따른 식각량 25
	3-4]	
_	_	습식식각(과망간산에칭)처리시간에 따른 식각량. 27
		습식식각(과망간산에칭)망간농도에 따른 식각량. 28
[그림		습식식각(과망간산에칭)망간온도에 따른 식각량. 29
		분석 방법 및 실제품 이미지(SEM image) 31
		건식/습식식각량별 비 관통홀 Top Size 분석 33
] 건식/습식식각량별 수지(Resin)잔사 분석 34
] 표면반응분석법(JMP분석)36
] 표면반응실험설계(JMP분석) 37
] 주효과분석(JMP분석) 교
] 비 관통홀 Hole Size분석(JMP분석)39
[그림	3-15] 수지(Resin)잔사 분석(JMP분석)41

[그림	3-16]	안전 조건	설계(JM	IP분석)	 42
[그림	3-17	코너(Corn	er)평가	결과(JMP분석)	 43

제 1 장 서론

제 1 절 연구 배경

반도체 기판은 미세 패터닝(Patterning)과 관통 구멍(Via hole) 가공기술을 활용, 고객의 설계에 따라 공정을 최적화하여 소재 가공을 통해모바일, 컴퓨터에 반도체와 함께 실장 된다. 다가올 5G 통합의 시대에고주파 영역대의 통신 칩(Radio Frequency System In Package)의수요가 급격하게 증가하고 있다.

전자, 통신기기의 고속화 및 소형화의 추세에 따라 전기적 절연성이 우수한 저유전율의 회로인쇄기판에 대한 요구는 날로 증대되고 있다. 저유전율 인쇄 회로 기판의 핵심소재인 동박 적층판의 기술적 요구특성은 동박 적층판의 기본소재인 수지, 기재 및 동박의 개별적 특성에 기인하며, 이중 수지의 요구 특성을 보면 전자 및 통신기기의 고속화에 따라 보다 우수한 임피던스 컨트롤을 위하여 저유전율의 특성이 요구되며, 더불어 고집적에 따른 발열에 견디기 위한 내열성이 뛰어난 수지로써 높은 Tg가 요구된다. 비관통구명 형성을 위해 레이져(Laser)가공을 이용하고 이때 녹은 절연소재의 수지(Resin) 성분이 드릴 구멍 내벽 및 바닥면에 눌러 붙게 되는데 이를 스미어(smear)라 고 한다. 스미어는 후속 공정인 Cu 도금 공정에서 정상적 인 Cu 층이 형성되는 것을 방해하며 따라서 반도체 기판 제조에서는 드릴 공정 이후 반드시

습식 에칭법인(과망간산에칭:Wet Desmear)공정을 진행 함으로써 Cu 도금전에 스미어(Smear)가 제거되도록 하고 있다

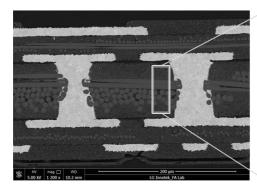
그러나 저 유전 소재의 경우는 이러한 습식 에칭법으로는 제거가 되지 않아 반도체 기판의 가장 큰 신뢰성 항목 중 하나인 관통 구멍(Via Hole) 바닥부위 수지(Resin)남음 불량이 발생하고 있는 상황이고 왜 발생하는지에 대한 메커니즘(Mechanism)을 연구하고 그 결과에 따른 모델링을 제안하고 신뢰성 불량을 원천적으로 없애고자 함이다.

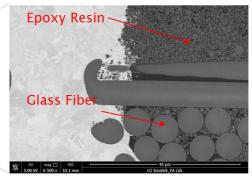
제 2 절 연구 내용

본 연구는 기존 소재와 저 유전 소재(Low Dk&Df)의 소재상의 특성 연구를 통한 차이 규명과 이러한 차이로 인한 건식(Drv)&습식(Wet) 식각(Etching) 공정에서의 식각량(Etchrate) 차이를 연구 하고자 한다. 본 연구에서는 기존소재와 저 유전 소재의 분자 구조의 차이 분석과 각 분자 구조별 식각 공정에서의 건식식각(Plasma에칭)과 습식식각(과망간산에칭)에 대한 반응성의 차이에 대한 이론적 연구를 먼저 수행하였다. 재료 물성(Properties)은 국내 제작사와 국산화 협업 과제로 전개하여 레진(Resin)의 구성 재료가 가장 큰 차이점이 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이로 인해서 약품(Chemical)과 플라즈마(Plasma)에서 반응성이 다르다는 것을 알 수 있었고 소재별 습식식각(과망간산), 건식식각(Plasma)의 인자(Factor), 수준(Level)별 차이를 실험을 통해 정량적으로 검증 하였고 이론과 동일한 결과값을 얻어 낼 수 있었다. 결과값인 수지(Resin)잔사의 양은 처리 전/후의 비관통 구멍의 깊이 차를 측정 하였다. 이 깊이의 차이는 처리 후 수지가 제거 된 양을 대변하게 된다. 또한 고객사의 요구사항(Spec)인 수지(Resin)남음, Via Hole Top Size 규격의 결과값을 각(Y1,Y2)으로 놓고 건식식각량(Plamsa), 습식식각량(과망간산)을 각 인자(X1, X2)로 두어 최적조건을 만족하는 값을 찾기 위해 표면반응 실험을 시행하였고 통계적 분석을 위해서 프로그램(JMP)를 활용하여 모델링을 할 수 있었다.

제 3 절 절연 소재의 특성 비교

반도체 기판에서 절연 소재는 Prepreg로 명명하며 유리섬유(Glass Fiber)에 수지(Resin)를 함침하여 열 경화 한 것으로 절연기능을 한다.





[그림. 1-1] 반도체 기판의 절연 층(Prepreg) 내부 구조도 (SEM image)

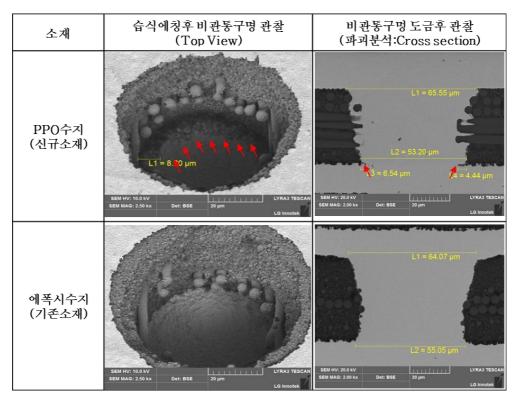
유리섬유(Glass Fiber)는 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화붕소(B₂O₃), 산화칼슘(CaO), 산화마그네슘(MgO)등의 화합물로 구성이 되고 구성비에 따라 고유의 물리적, 전기적, 열적 특성(Properties)을 가지게된다. 수지(Resin)의 경우는 이관능성(Bisphenol계) 에폭시(Epoxy)수지로 가격이 저렴하고, 열적, 화학적 및 기계적 특성은 매우 우수하나전기적 특성인 유전율에 한계가 있어(유전율 = 약 3.8 at 1MHZ)최근에는 5G통신 성능의 향상을 위해 (최근에) 반도체 기판용 절연층에 적용하기 시작한 PPO(Poly Phenylene Oxide)가 있다. 이 PPO(Poly Phenylene Oxide)를 적용한 소재가 신호 전달의 손실을 줄이는 저손실, 저 유전 소재이다.

	기존 소재 Epoxy +Phenolic	신규 소재 PPO (Poly Phenylene Oxide)
분자 구조	HO————————————————————————————————————	CH ₃ CH ₃ CH ₃ CH ₃ n

[그림. 1-2] 소재에 따른 수지(Resin)분자 구조도
[그림. 1-2]에서 볼 수 있듯이 저 유전 소재인 PPO수지는 수용성기 (-OH)가 없이 C-C결합으로 이루어져 있다. 이러한 분자 결함으로 Chemical반응성이 떨어지고 수분을 흡수는 능력이 떨어지는 특성소수성(Hydrophobic)의 특성을 갖게 된다. 그리고 전기적으로 극성이(Polarization)낮고 자유부피(Free Volume)이 크게 되어 낮은 유전 손실의 특성을 만들어 있는 것이다. 반면, 에폭시 수지의 경우는이와는 반대로 (-OH)기로 인해서 물에 작 녹고 분자간 결합력 자체도낮다. 친수성(Hydrophilic)을 띠게 되고 전기적 특성은 PPO수지와비교하여 높은 전기적 극성, 낮은 자유부피를 가지는 등 모두 반대의 특성을 가지게 된다.

항목	에폭시수지	PPO수지
Tg(℃)	170	210
유전율(@ 1MHz)	3.81	2.58

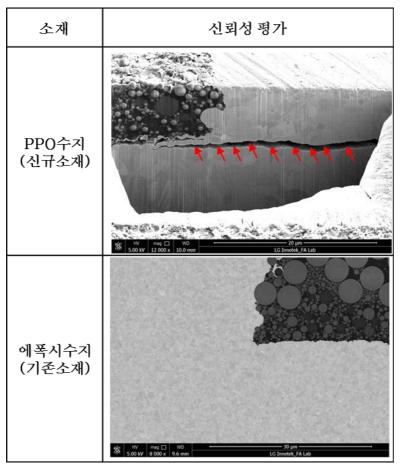
[표. 1-1] 수지(Resin)에 따른 열적, 전기적 특성
[표. 1-1]에서 수지(Resin) 차이로 인해서 PPO수지의 경우는 높은 열적 안정성과 낮은 유전율의 전기적 특성을 가지게 된다.
이러한 특성으로 인해서 5G통신칩에 적용되는 반도체 기판의 경우는 보다 높은 열적, 전기적 특성을 가진 PPO수지가 본격적으로 적용되고 있는 것이다.



[그림. 1-3] 소재에 따른 반도체 기판 제작 후 수지 남음 관찰 (SEM image)

일반적인 반도체 기판 제조 공정순서로 제작 된 소재별 수지 남음 확인을 해보면 [그림. 1-3]에서 PPO수지를 적용한 절연층에(Prepreg) 층간 전류 도통을 위한 비관통구멍(Laser Via Hole)바닥에 습식식각(과망간산에칭)후에도 검은색의 수지(Rsein)잔사가 많이 남아 있는 것을 알 수 있고 비관통구멍 단면 분석을 위한 내부 파괴분석(Croess Section)결과에서도 에폭시(Epoxy)수지 대비 많은 잔사가 남아 있음을 확인 할 수 있다.

잔사는 구리도금~구리도금 조직간의 결합을 방해하게 되고 해당 영역만큼은 도금조직끼리의 결합이 완전히 되지 않고 떠 있는 공극이 형성되게 된다



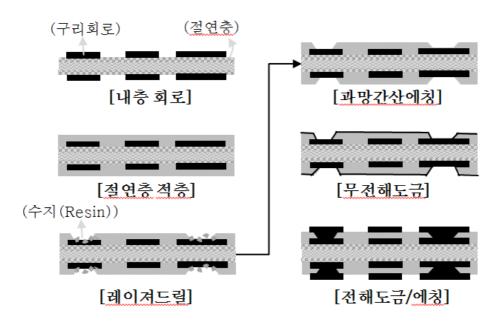
[그림. 1-4] 반도체 기판 열충격 신뢰성 평가 결과(SEM image) 이러한 PPO수지 적용 반도체 기판 관통 구멍 내 구리 도금 사이의 공극은 반도체 기판의 기본 신뢰성중의 하나인 열충격(TST:Themarl Shock Test)조건하에서 층간 분리가 일어나게 됨을 확인하였다. 반면 기존소재인 에폭시(Epoxy)소재의 경우는 아무런 계면의 이상이확인되지 않는다. [그림. 1-4]

*TST조건: -65℃ 1min~150℃ 1min x 200cycles

제 4 절 식각(etching) 이론

1. 반도체 기판 제조 공정의 흐름

반도체 기판 제품의 층수는 2층부터 16층까지 다양하며, 그 제조 공정은[그림. 1-5]와 같은 공정 사이클을 여러 번 반복하는 것으로 구성되어 있다.



[그림. 1-5] 반도체 기판 제조 공정

다층 구조를 만들기 위해서 이미 형성되어 있는 내층(inner layer) 위에 제품 층간을 전기적으로 절연시키는 절연층(Prepreg)를 쌓고 고열, 고압의 조건으로 프레스(Press)하여 성형한다. 성형이 완료된 후에 내층과 외층을 전기적으로 연결하기 위해 레이져 드릴(Laser Drill)을 이용하여 비관통구멍(Laser Via Hole)을 형성한다. 패키지 기판 제조에 사용되는 레이저 드릴은 10.6 μ m 파장의 CO2 레이저 장비가 주로 사용된다. 드릴 공정에서 레이저를 이용하여 비관통 구멍(Laser Via Hole)을 가공할 때 발생하는 다량의 열에 의하여 절연층의 수지(Resin)가 녹는 현상이 발생하는데 이때 비관통 구멍 내벽 및 바닥면에 열변형

된 수지(Resin)가 눌러 붙게 되며 수지 잔사, 이를 스미어(smear)라 한다. 이와 같이 형성된 스미어는 이후 공정인 무전해 동도금 공정에서 절연층 표면에 정상적으로 Cu 층이 형성되는 것을 방해한다. 따라서 무전해 동도금 공정 전에 디스미어(desmear) 공정이라고 하는 습식에 칭(과망간산에칭)을 적용하고 있다. [그림. 1-3] 에서 볼 수 있듯이 기존 소재에서 사용하는 에폭시 수지의 경우는 수지 잔사가 쉽게 제거되지만 저 손실 구현을 위한 신규 소재인 PPO(Poly phenylene Oxide)수지의 경우 습식에칭에서도 수지 잔사가 제거가 완벽히 되지 않는 것을확인 할 수 있다. 과망간산을 이용한 습식 에칭인 디스미어(Desmear) 공정은 스웰링(Swellering), 과망간산 에칭(Permagnate etching) 및 환원(Reduction)의 3단계 세부 습식 공정으로 구성되어 있다. 이후 전기적으로 신호를 연결하기 위해 무전해 동도금 그리고 감광성 재료를 이용한 Photolithography로 회로 형성을 하고 전해 동도금과 에칭을 하여 최종적으로 완성하게 된다.

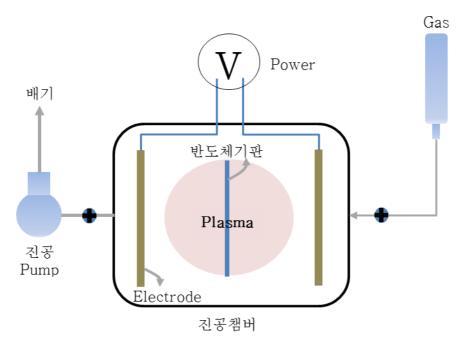
2. 건식 식각 공정 메커니즘

기체상태의 분자 혹은 원자가 가장 에너지가 높은 상태이며 이러한 분자혹은 원자들에 에너지를 가해주어 최외각 전자의 결합이 떨어지게 되면 이동이온 상태의 원자(혹은 분자)와 비결합 상태의 자유전자가 독립적으로 존재하는 상태로 물질의 제4상태라고 명명되기도 하며, 물리학적으로 다음의 조건을 만족하여야 Plasma라고 부른다.

- 1. 통계처리가 가능한 충분한 개수의 이동이온 및 전자가 주어진 Boundary 내에 존재할 것.
- 2. Boundary 전체적으로 전기적 중성을 유지할 것(Balance Mechanism)
- 플라즈마 내의 존재물질: 분자 > 원자 > Radical > Ion > 전자 : 음극으로 대전된 입자(전자) 및 음이온의 밀도와 이온(+)으로 대전된 입자(양이온)의 밀도가 같은 상태인, 전기적으로 대전된 입자 및 중성

입자들의 집합체

반도체 기판 제조 공정에서는 Plasma를 활용하여 미세한(40~70um) 비 관통구멍(Laser Via Hole)에 대한 습식식각(과망간산에칭)시 디스미어(Desmear) 약품액의 침투성을 증가시키도록 표면 개질의 목적과 전해/무전해 금도금 공정 전 표면 유기물 세정의 목적으로 일부 공법에 적용하고 있다. 본 실험의 연구와 평가를 위해 진공 플라즈마(Plasma)를 활용하였고[그림. 1-6] 이 Plasma는 발생 이온의 밀도가 높고 넓은 입자간 거기로 높은 운동에너지를 가지고 있어 반도체기판에서 주로 적용되는 설비이다. 사용되는 Gas의 종류는 O2, CF4, N2로 CCP(charge coupled plasma) 방식의 진공 플라즈마 이다.



[그림. 1-6] 진공 플라즈마 장비 구성도

건식(Dry)식각에는 총 5가지의 타입이 있고 전체 메커니즘은 화학적 및 물리적 식각으로 분류 될 수 있다.

- a. Gas Phase etching (Non-Plasma base)
- b. Sputtering etching (plasma base)
- c. Plasma etching (plasma base)
- d. Ion-enhanced Energetic (plasma base)

e. Ion-enhanced Inhibitor(plasma base) 반도체 기판에서 사용하는 c. Plasma Etching(Plasma Base)는 (수식1, 2, 3)의 총 3단계의 메커니즘(Mechanisms)으로 식각이 진행된다.

1)
$$2e + 2CF_4 \rightarrow CF_3 + CF_2 + 3F + 2e$$
 (수식 1-1)

(e+ halocarbon → saturated species+unsaturated species+atoms)

2)
$$F + CF_2 \rightarrow CF_3$$
 (수식 1-2)

(reactive atoms, molecules+unsaturated species → saturated species

(atoms+surface→ chemisorbed layer + volatile products)

3. 습식 식각 공정 메커니즘

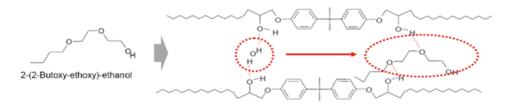
반도체 기판 층간 전류의 도통을 위해 비관통 구멍(Laser Via Hole)의 가공을 레이져 드릴(Laser Drill)공정을 통해 형성한다. 이때 발생하는 다량의 열에 의하여 절연층의 수지(Resin)가 녹는 현상이 발생하고 이때 비관통 구멍 내벽 및 바닥면에 열변형된 수지(Resin)가 눌러 붙게되며 수지 잔사, 이를 스미어(smear)라 한다. 반도체 기판의 가장 중요한 신뢰성 중 하나인 열충격에서 이와 같이 형성된 스미어는 이후 공정인 무전해 동도금 공정에서 절연층 표면에 정상적으로 Cu 층이 형성되는 것을 방해하고 결국에는 동도금(Cu)층의 분리가 일어나게 된다. 무전해 동도금 공정 전에 디스미어(desmear) 공정이라고 하는 습식식각(과망간산에칭)을 적용하고 있다.

스웰링(Swelling), 과망간산 식각(Permagnate etching) 및 환원(Reduction)의 3단계 세부 습식 공정 이루어져 있다. 첫번째 스웰링(Swelling)의 메커니즘은 [그림. 1-7]과 같다.

1) 약품 구성은 극성 결합기(Polar Bonding group)와 수소

결함기(Hydrogen Bonding group)를 가진 뷰틸 글리콜 베이스이다.

- 2) 절연층(Prepreg)원소재는 이 약품과 물을 흡수하게 되고
- 3) 고분자 체인과 사이의 수소 결합은 스웰러 약품 분자에 의해 대체 된다.



[그림. 1-7] 스웰링(Swelling) 메커니즘(Mechanisims) 두번째 스텝인 [그림. 1-8] 과망간산 시각(Permagnate Etching)의 메커니즘은 수지 잔사(Smear)를 제거 하기 위한 약품으로 단계적 반응으로 수소를 추출해내고 소재표면에 물 분자를 이용한 가수분해기를 형성하고 용액속에 H2CO3의 수소가 금속으로 치환된 염으로, 이산화탄소 CO2와 금속산화물 또는 수산화물로 구성되는 염을 형성시킨다

[그림. 1-8] 과망간산 식각(Permagnate Etching) 메커니즘(Mechanisims)

마지막 3번째 스텝인 환원(Reduction) 메커니즘은
MnO2화합물의 반응억제 및 제거와 후속공정의 액 침투를 용이하게
하기 위한 프리 컨디셔닝(Pre conditioning) 기능이 있다

1)
$$MnO_2 + 4H^+ 2e^- \rightarrow Mn2^+ + 2H_2O$$
 (수식 1-4)

$$H_2O_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- + O_2$$
 (수식 1-5)

제 2 장 절연 소재의 특성 연구

1. 접촉각 비교 분석

접촉각(Contact Angle)은 액체가 고체와 접촉하고 있을 때에, 액체의 자유 표면이 고체 평면과 이루는 각도로 정의된다. 접촉각은 작은 액체 방울을 고체 표면에 떨어뜨린 후 액체 방울이 그 표면과 이루는 각도를 측정함으로써 알 수 있다. 접촉각은 고체 표면의 친수성 정도를 정량적으로 확인할 수 있는 척도로서 접촉각이 낮다는 것은 고체의 표면이 높은 친수성임(Hydrophilic)을 또는 낮은 표면 에너지를 가지고 있음을 의미한다. [그림. 2-1]



(a) Hydrophobic

(b) Hydrophilic

[그림. 2-1] 접촉각(Contact Angle)에 의한 구분

본 연구에서는 절연층 소재별(기존/신규)표면의 친수성 정도를 측정하기 위하여 순수(deionized water)를 이용한 접촉각 측정 실험을 수행하였다. 또 본 연구는 앞서 연구한 건식식각(Plasma)의 효과인 소재 표면의 이온 흡착을 통한 친수성으로의 개질 효과와 이를 토대로 이 후 습식식각(과망간산에칭)의 약품의 침투성을 좋게 할 수 있다는 이론을 실험을 통해 정량적으로 검증해봄으로써 소재별 친수성 정도가 얼마나 달라지는지 비교해봄으로써 소재 자체의 특성이 얼마나 다른지를 비교해 보았다.

1. 시험조건

. Water drop volume : $0.5\mu\ell$

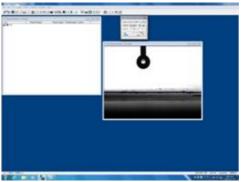
. 샘플링 사이즈 : 각 소재별 20개 측정

. 실험장비: FM4000, IL4201

. 시편: 기존소재(에폭시수지: 건식식각 전/후),

신규소재(PPO수지:건식식각 전/후)





[그림. 2-2] 접촉각(Contact Angle) 측정기

2. 시험결과

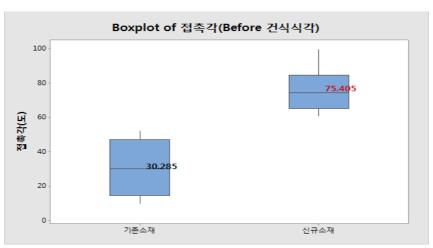
[그림. 2-3]은 건식식각(Plasma) 적용 전 기존소재(에폭시 수지)와 신규소재(PPO수지)의 접촉각(Contact angle)의 비교 분석 값이다. 일원분산 분석표(One-Way ANOVA)와 상자 그림(Box Plot)을 통해 알 수 있듯이 P-value 0.000 으로 유의수준 5%내에서 신규 소재의 Contact Angle이 평균 75.4도로 기존소재의 평균 30.2도 대비 크다는 것을 통계적으로 검증 하였다

신규 소재의 접촉각이 크다는 것은 표면 장력이 더 강하고 이로써 약품이 침투 할 수 있는 능력(Wetting성)이 낮다는 것을 의미한다.

즉 신규소재(PPO수지: Poly phenylene Oxide)는

소수성(Hydrophobic)에 가까운 특성을 가지고 있다. 이러한 특성으로 신규 소재의 경우는 기존에 적용하던 습식식각(과망간산에칭)으로 수지(Resin)잔사의 제거가 기존 소재 대비 불리한 것이다.

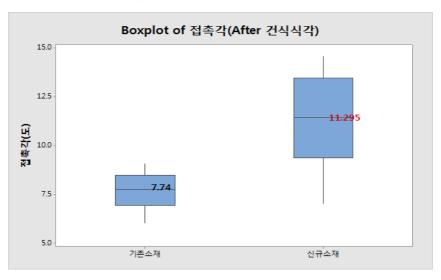
반면, 기존소재는 친수성(Hydrophilic)의 특성을 가지고 있어 습식식각(과망간산에칭)시 약품의 비 관통구멍(Laser Via Hole) 벽면 및 내부 침투가 유리한 것임을 알 수 있다.



One-way ANOVA: Contact Angle (Before Plasma) versus Prepreg Method Null hypothesis All means are equal Alternative hypothesis At least one mean is different Significance level $\alpha = 0.05$ Equal variances were assumed for the analysis. Factor Information Factor Levels Values Preprea 2 신규소재, 기존소재 Analysis of Variance Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Prepreg 1 20358 20358.1 109.33 0.000 Error 38 7076 186.2 Total 39 27434

[그림. 2-3] 건식식각전 소재별 접촉각 비교 분석(Minitab분석)

[그림. 2-4]는 건식식각(Plasma) 적용 후 기존소재(에폭시수지)와 신규소재(PPO수지)의 접촉각(Contact angle)의 비교 분석 값이다. 건식식각(Plasma)의 적용으로 2개 소재 모두 적용 전 보다 접촉각이 상당히 작아진 것을 확인 할 수 있다. 2개 소재 모두 접촉각이 작아졌으나 여전히 신규소재(PPO)의 접촉각이 기존소대 대비 높고보다 더 소수성(Hydrophobic)의 특성을 가지고 있는 것이 확인되었다. (기존 소재 : 30.2도 → 7.7도 , 신규 소재 : 75.4도 → 11.2도)이 실험을 결과로 건식식각(Plasma)의 친수성으로의 표면 개질 효과는통계적으로 검증 되었다. [표. 2-1]



One-way ANOVA: Contact Angle (After Plasma) versus Prepreg Method Null hypothesis All means are equal Alternative hypothesis At least one mean is different Significance level $\alpha = 0.05$ Equal variances were assumed for the analysis. Factor Information Factor Levels Values Prepreg 2 신규소재, 기존소재 Analysis of Variance Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Prepreg 1 126.0 126.025 45.37 0.000 38 105.6 2.778 Error Total 39 231.6

[그림. 2-4] 건식식각후 소재별 접촉각 비교 분석(Minitab분석)

소재 구분	기존소재	신규소재
건식에칭 전	30.2도	75.4도
건식에칭 후	7.7도	11.2도

[표. 2-1] 건식에칭 전/후 소재별 접촉각 비교

2. 식각 공정에서의 식각량 분석

소재별 습식식각(과망간산에칭)과 건식식각(Plasma)후에 절연층이 식각되는 양(에칭량: Etchrate)에 대한 비교 상관분석을 실험을 통해서 연구했다. [표. 2-2] [표. 2-3]

1. 시험조건

스웰러			과망간산에칭			환원		
처리시간 (분)	운도 (℃)	농도 (ml/L)	처리시간 (분)	(℃) 동도	농도 (g/L)	처리시간 (분)	운도 (℃)	농도 (ml/L)
5	70	350	10	80	60	10	50	100

[표. 2-2] 습식식각 조건표

순서	처리시간 (sec)	Power (kw)	진공 (Torr)	온도 (℃)	O ₂ (sccm)	N ₂ (sccm)	CF ₄ (sccm)
1	300	8	0.25	80	1200	300	0
2	850	10	0.25	80	1440	360	0
3	600	7	0.25	70	1000	80	200
4	200	5	0.25	70	1500	0	0

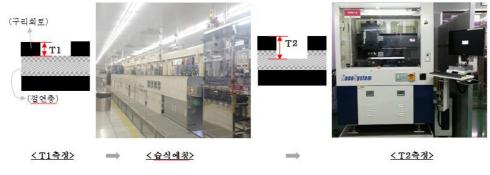
[표. 2-3] 건식식각 조건표

- . 샘플링 사이즈: 각 소재별 15개씩 측정
- . 실험장비: 습식식각(Desmear설비), 건식식각(진공Plasma설비)
- . 분석장비: 3차원 측정기(Hole Depth측정)
- . 시편: 기존소재(에폭시수지:습식에칭/건식에칭)+ 비 관통구멍, 신규소재(PPO수지:습식에칭/건식에칭)+ 비 관통구멍

. 분석값: 습식/건식식각 처리 전 두께(T1) - 처리 후 두께(T2)값이 절연소재의 식각량(Etch rate)가 된다

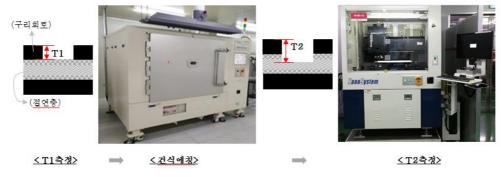
실험방법:

- 1) 습식식각(과망간산에칭)
 - a. 소재별 제작 된 시편의 처리 전 두께(T1)를 3차원 측정기를 통해 측정한다.
 - b. 측정이 완료된 시편을 습식식각(과망간산에칭)을 위해 디스미어 (Desmear)설비에 투입 한다.
 - c. 습식식각이 완료된 시편의 두께(T2)를 3차원 측정기로 측정한다
 - d. T1-T2값을 구하여 습식 식각량(Etchrate)를 구한다



[그림. 2-5] 습식식각 실험 방법

- 2) 건식식각(Plasma)
 - a. 소재별 제작 된 시편의 처리 전 두께(T1)를 3차원 측정기를 통해 측정한다.
 - b. 측정이 완료된 시편을 건식식각(Plasma)을 위해 진공 플라즈마 (Plasma)설비에 투입 한다.
 - c. 건식식각이 완료된 시편의 두께(T2)를 3차원 측정기로 측정한다
 - d. T1-T2값을 구하여 건식 식각량(Etchrate)를 구한다



[그릮. 2-6] 건식식각 실험 방법

2. 시험결과

[그림. 2-7]과[그림. 2-8]은

습식식각(과망간산에칭)/건식식각(Plasma)(하)에서 기존소재(에폭시 수지)와 신규소재(PPO수지)의 서로 다른 식각량(Etchrate)을 보여준다. 식각량을 측정 하기 위해 새롭게 정의한 시편 처리 전 두께(T1) - 시편 처리 후 두께(T2)는 기존 방법인 무게법(Weight loss)에 비해 실제 제품과 유사한 시편으로 보다 더 정확한 값을 보여주었고 이는 반도체 기판 실제 제품의 식각량(Etchrate)과 동일한 값을 나타내었다. [표. 2-4] 기존소재의 경우 동일 조건에서 약 1.25um의 식각량을 보이며 신규소재의 경우 절반 수준인 0.64um를 나타내었다. 반면, 건식식각의 경우는 반대의 결과로 기존소재의 경우 1.14um 그리고 동일 한 조건에서 신규소재는 1.66um로 나타났다. 이 결과값들은 모두 유의수준 5% 에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었고 이러한 결과는 앞선 절연 소재의 특성 비교와 메커니즘 연구에서 진행한 이론과 동일한 결과를 확인 할 수 있었다. [표. 2-5] 기존소재는 (-OH)기의 결합으로 친수성(Hydrophilic)의 성질을 가지고 있고 이러한 친수성의 작용기를 가짐으로 화학적 반응성이 높다.

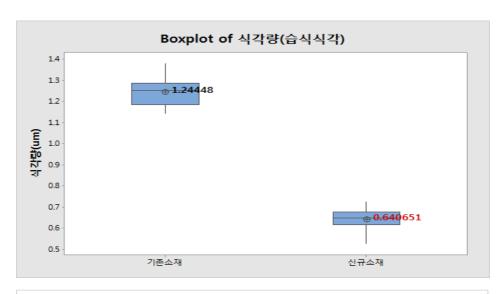
PPO: Poly Phenylene Oxide수지를 사용한 신규 소재의 경우는 전기적

극성이 낮고 C-C결합으로 소수성(Hydrophobic)의 특성을 가지므로

낮은 화학적 반응성을 포함하여 반대의 특성을 가지게 된다. 건식식각(Plasma)에칭량의 차이도 수지의 분자 구조와 특성에 의해 차이가 많은데 다공도(Porosity)가 높고, 밀도(Density)가 낮은 PPO수지는 C-C결합으로 건식식각에서 주요 Gas인 F/O₂ 에 의해 분해가 잘 되는 특성을 보이게 된다.

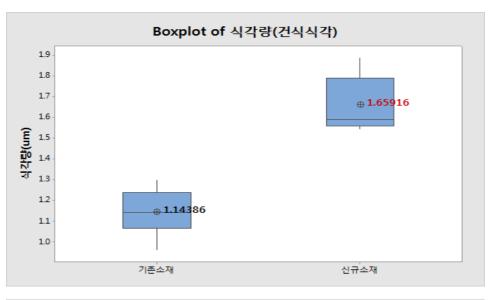
구분	측정법	측정기	시펀
기존 측정방법	무게값 변화 (Weight loss)	전자저울	절연충만
신규 측정방법	처리전/후홀 두께 차 (T1-T2)	3D 측정기	구리회로+절연충

[표. 2-4] 식각량(Etchrate)측정법 비교



One-way ANOVA: 기존소재, 신규소재 Method
Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level a = 0.05
Equal variances were assumed for the analysis.
Factor Information
Factor Levels Values
Factor 2 기존소재, 신규소재
Analysis of Variance
Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value
Factor 1 1.82306 1.82306 448.42 0.000
Error 28 0.07318 0.00407
Total 29 1.89624

[그림. 2-7] 소재별 습식식각량 비교 분석(Minitab분석)



One-way ANOVA: 기존소재, 신규소재
Method
Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level a = 0.05
Equal variances were assumed for the analysis.
Factor Information
Factor Levels Values
Factor 2 기존소재, 신규소재
Analysis of Variance
Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value
Factor 1 1.3276 1.32765 94.62 0.000
Error 28 0.2526 0.01403
Total 29 1.5802

[그림. 2-8] 소재별 건식식각량 비교 분석(Minitab분석)

구분 소재	기존소재	신규소재
습식에칭량	1.25um	0.64um
건식에칭량	1.14um	1.66um

[표. 2-5] 소재별 에칭타입에 따른 에칭량(Etchrate)비교

제 3 장 식각 공정 실험 설계 및 해석

제 1 절 인자 수준별 비교 실험

1. 인자 상관성 실험 설계법

소재 특성에 따른 특성 정의를 하였고 그에 따른 실지적, 정량적 비교 분석을 위한 실험 계획법 수립하였다.

건식/습식 식각 공정의 인자/수준별 그리고 소재별 식각량에 대한 비교 분석을 위하여 실험 계획법을 세웠고 [표. 3-1]과 같이 건식식각 (Plasma)은 처리 시간, Gas농도(CF₄, O₂, N₂)를 인자로 선정하였고 수준은 통제가 가능한 수치로 최저치에서 설비에서 출력이 가능한 최고 조건까지를 등 간격으로 선정하였다.

습식식각(과망간산에칭)의 경우는 처리 시간, 과망간산의 농도, 온도를 인자로 선정하였고 수준은 건식식각과 마찬가지로 최소값과 안전허용 최대값으로 하여 등 간격으로 배치하였다.

측정값은 Etching Amount(Etchrate)로 표준시편의 처리 전과 후의 깊이 차로(T1-T2) 구했고 분석을 위해서 그래프 분석에 특화된 통계프로그램(JMP)를 사용하였다.

. 샘플링 사이즈 : 각 인자 수준별 8개

. 실험장비: 진공플라즈마, 디스미어(Desmear)설비

. 측정장비: 3차원 측정기

. 측정값: Etching Amount(Etchrate)

. 시편: 기존소재(에폭시수지) 신규소재(PPO수지)

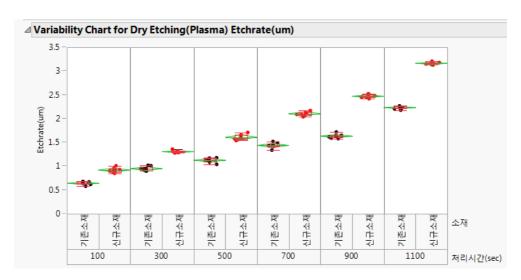
구분	Control		Test	
소재	기존소재		신규소재	
건식에칭 (Plasma)	처리시간 (sec)	500 (0)	100/300/700/900/1100 (-) (-) (+) (+) (+)	
	CF4농도 (sccm)	200 (0)	50/100/150/250/300 (-) (-) (-) (+) (+)	
	02농도 (sccm)	1000 (0)	200/400/600/800/1200/1400 (-) (-) (-) (-) (+) (+)	
	N2농도 (sccm)	200 (0)	50/100/150/250/300 (-) (-) (-) (+) (+)	
<u> 습식에칭</u> (<u>과망간산에칭</u>)	처리시간 (sec)	500 (0)	100/300/700/900 (-) (-) (+) (+)	
	망간농도 (g/L)	50 (0)	10/30/70/90 (-) (-) (+) (+)	
	망간온도 (℃)	80 (0)	60/70/90/100 (-) (-) (+) (+)	

[표. 3-1] 건식/습식식각 인자수준별 상관성 실험계획표

2. 건식공정의 조건별 식각량

[그림. 3-1]은 건식식각(Plasma)처리 시간에 따른 소재별 식각량(Etchrate)이다. Plasma처리 시간의 증가에 따라 소재별 식각량(Etchrate)은 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 기존소재의 경우 약0.6um에서 최고 약 2.2um까지 상승되었고 신규 소재는 약 0.9um에서 최고 약 3.1um까지 증가 폭이 컸다. [표. 3-2] 신규소재가 기존소재 대비 건식(Plasma)에서 반응성이 더 높은 것을 확인 할 수 있었고 앞서 이론적으로 연구한 PPO소재의 구조적 특성인 C-C결합, 높은 다공도와 낮은 밀도를 가진 소재로 건식식각에 보다 더 수지(Resin)가 쉽게 분리됨을 확인하였다

^{*} sccm: standard cubic centimeter per minute

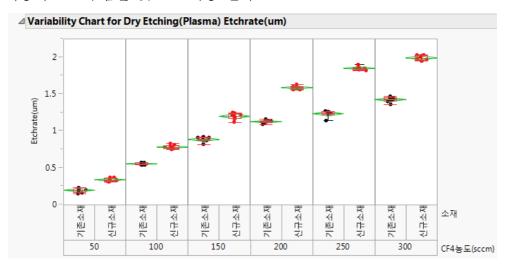


[그림. 3-1] 건식식각(Plasma)처리시간에 따른 식각량

처리시간	기존소재	신규소재
100sec	0.64um	0.92um
300sec	0.95um	1.31um
500sec	1.13um	1.61um
700sec	1.44um	2.11um
900sec	1.63um	2.47um
1100sec	2.23um	3.16um

[표. 3-2] 건식식각 처리시간에 따른 소재별 식각량

[그림. 3-2]은 건식식각(Plasma) CF₄ Gas농도에 따른 소재별 식각량(Etchrate)으로 CF4 Gas농도의 증가에 따라 기존, 신규소재 모두 식각량(Etchrate)은 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 기존소재의 경우 약 0.2um에서 최고 약 1.4um까지 상승되었고 신규 소재는 약 0.3um에서 최고 약 2um까지 증가 폭이 컸다. [표. 3-3] 그리고 농도 증가에 따른 식각량의 증가폭에 대한 기울기는 점점 작어져서 기존 소재는 약 1.5um, 신규 소재는 약 2.5um정도에 최종적으로 수렴할 것으로 예상 된다.



[그림. 3-2] 건식식각(Plasma)CF₄농도에 따른 식각량

CF ₄ 농도	기존소재	신규소재
50sccm	0.20um	0.34um
100sccm	0.55um	0.78um
150sccm	0.89um	1.20um
200sccm	1.13um	1.59um
250sccm	1.23um	1.85um
300sccm	1.43um	1.99um

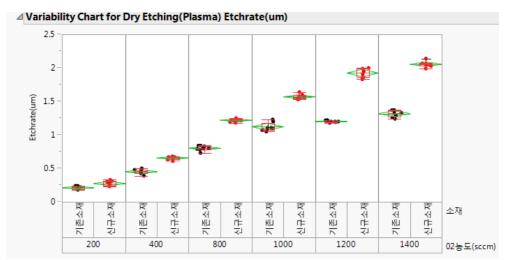
[표. 3-3] 건식식각 CF₄ 가스농도에 따른 소재별 식각량

[그림. 3-3]은 건식식각(Plasma) O₂ Gas농도에 따른 소재별 식각량(Etchrate)으로 [그림. 3-2]의 CF4 Gas농도에 대한 반응성과 유사한 결과를 보였다.

기존소재의 경우 약 0.2um에서 최고 약 1.3um까지 상승되었고 신규 소재는 약 0.3um에서 최고 약 2um까지 증가 폭이 컸다.

O₂ Gas농도에 대한 소재별 반응성 경향은 CF4와 거의 유사하며

영향성은 조금 작다고 볼 수 있다. [표. 3-4]

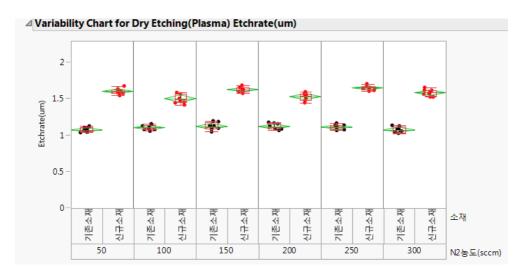


[그림. 3-3] 건식식각(Plasma)O₂농도에 따른 식각량

0 ₂ 농도	기존소재	신규소재
200sccm	0.21um	0.28um
400sccm	0.45um	0.66um
800sccm	0.80um	1.22um
1000sccm	1.12um	1.57um
1200sccm	1.20um	1.92um
1400sccm	1.32um	2.06um

[표. 3-4] 건식식각 O₂ 가스농도에 따른 소재별 식각량

[그림. 3-4]은 건식식각(Plasma) N_2 Gas농도에 따른 소재별 식각량(Etchrate)으로 초기의 식각량(Etchrate)이 농도에 따른 변화 없이 일정하게 유지됨을 확인 할 수 있었다. [표. 3-5] 진공Plasma공정에서 N_2 Gas의 역할은 불순물 제거의 Purge에 있음을 확인하였다.



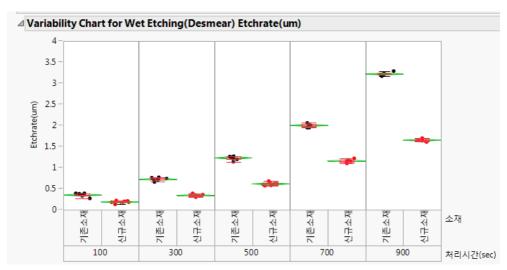
[그림. 3-4] 건식식각(Plasma)N2농도에 따른 식각량

N ₂ 농도	기존소재	신규소재
50sccm	1.08um	1.61um
100sccm	1.11um	1.51um
150sccm	1.12um	1.63um
200sccm	1.12um	1.53um
250sccm	1.12um	1.65um
300sccm	1.08um	1.59um

[표. 3-5] 건식식각 N₂ 가스농도에 따른 소재별 식각량

3. 습식 공정의 조건별 식각량

[그림. 3-5]은 습식식각(과망간산에칭) 처리시간에 따른 식각량으로 처리 시간의 증가에 따라 식각량은 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. [표. 3-6]에서 보듯이 기존소재는 최소 약 0.3um에서 최대 약 3.2um까지 급격한 증가 현상을 보였고 신규소재의 경우 최소 약 0.2um에서 최대 약 1.65um까지 증가 현상은 동일하게 관찰되나 처리시간에 따른 증가폭의 기울기는 기존소재 대비 약 절반 정도에 미치는 것으로 확인되었다. 앞서 연구한 결과와 동일하게 기존소재의 경우 (-OH) 극성기를 가지고 있어 화학적 반응성이 우수한 이유이다. 반면 신규소재는 극성기가 최소화되어 중성의 안정적 구조를 가지며 이로 인해서 화학적 반응성이 낮다.



[그림. 3-5] 습식식각(과망간산에칭) 처리시간에 따른 식각량

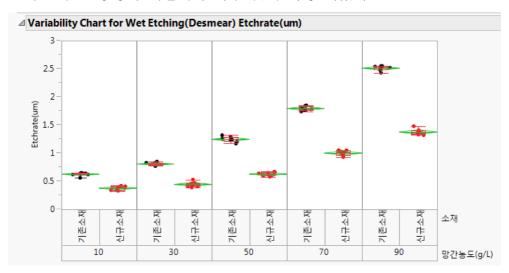
처리시간	기존소재	신규소재
100sec	0.35um	0.19um
300sec	0.72um	0.34um
500sec	1.23um	0.61um
700sec	2.00um	1.16um
900sec	3.22um	1.65um

[표. 3-6] 습식식각 처리시간에 따른 소재별 식각량
[그림. 3-6] 습식식각(과망간산에칭) 망간의 농도와 [그림. 3-7]
습식식각(과망간산에칭) 망간온도에 따른 식각량 분석 결과이다
망간농도와 온도 증가에 따라 소재별 식각량(Etchrate)은 비례하여
증가함을 볼 수 있었고 기존소재의 반응성이 모두 신규소재에 대비하여

우수함을 확인하였다. 2개 소재 모두 망간의 온도보다 농도에 더 높은 반응성을 보였다. [표. 3-7] [표. 3-8]

망간 농도의 증가에 따라 기존소재의 경우 급격한 반응성을 보였고 신규소재의 경우는 약 절반 정도의 반응 값을 나타내었다.

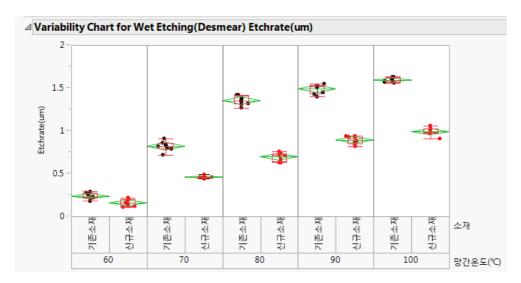
또, 망간온도의 경우는 60℃의 낮은 온도에서는 기존소재와 신규소재모두 낮은 반응값을 보였고 80℃ 이후의 온도부터는 기존 소재와 신규소재모두 반응성의 기울기가 아주 낮게 측정 되었다.



[그림, 3-6] 습식식각(과망간산에칭) 망간농도에 따른 식각량

망간농도	기존소재	신규소재
10g/L	0.63um	0.38um
30g/L	0.81um	0.44um
50g/L	1.25um	0.63um
70g/L	1.79um	1.00um
90g/L	2.51um	1.38um

[표. 3-7] 습식식각 망간 농도에 따른 소재별 식각량



[그림. 3-7] 습식식각(과망간산에칭) 망간온도에 따른 식각량

망간온도	기존소재	신규소재
60℃	0.24um	0.16um
70℃	0.82um	0.46um
80℃	1.35um	0.70um
90℃	1.49um	0.89um
100℃	1.59um	0.99um

[표. 3-8] 습식식각 망간 온도에 따른 소재별 식각량

제 2 절 최적 조건 실험 해석

1. 표면반응 실험 계획법

본 연구를 통해서 기존소재(에폭시 수지), 신규소재(PPO수지)의 건식식각(Plasma)/습식식각(과망간산에칭)에서의 식각량(Etchrate)의 상관관계와 각 소재별 수지의 분자 구조의 의한 특 성차이를 확인하였다. 신규소재의 수지(Resin)잔사는 PPO(Poly Phenylene Oxide) 극성이 적고 안정적인 구조로 인해서 기존의 습식식각(과망간산에칭)에서 제거에 한계가 있음을 확인 하였고 C-C결합 제거에 효과 큰 건식식각(Plasma)과의 조합이 필요함을 실험을 통해서 확인하였다. 반도체 기판 신뢰성에 큰 영향을 주는 수지 (Resin)잔사를 제거 하기 위한 최적 조건의 실험을 본 연구를 통해 진행하기로 한다. 건식/습식식각에서 식각량(Etchrate)조정을 통해 수지(Resin)잔사가 얼마나 제거가 되고 또 동시에 제품의 규격을 만족하는 최적조건을 찾고자 한다. [표. 3-1]

실험은 건식식각 식각량(X1), 습식식각 식각량(X2) 2개의 인자와 건식식각 식각량은 0~2.0um까지 0.5um단위로 5개 수준으로 등간격 배치하였고 습식식각 시각량은 0.5~2.0um까지 0.5um단위로 4개 수준으로 등간격 설계 하였다. 반도체 기판 공정에서 습식식각(과망간산에 칭)은 기본 프로세스로 반드시 포함되어야 하므로 0um조건은 본 실험에서 제외하였다. [표. 3-10]

측정의 대상이 되는 결과 값은 제품 규격항목인 비 관통홀 Top Size(Y1)와 수지(Resin)잔사(Y2) 2개 실험을 진행하였다. [표. 3-9] 전체 실험의 절차는 2개의 결과값을 만족하는 결과값을 찾아내는 실험으로 표면반응분석법(Response Surface Design)을 통계프로그램(JMP)를 통해 분석하였다.

표면반응분석법은 여러 개의 설명변수 X들이 복합적인 작용을 함으로써 어떤 반응변수Y들에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루어 지는 반응표면에 대한 통계적 분석 방법을 말한다.

전체 실험의 진행은 1차 기초 평가를 통해 결과값 Y의 최적 구간을 찾고 2차 중심합성계획법을 통해 결과값 Y를 구현하는 최적의 X인자들의 수준을 찾고자 한다.

중심합성계획법은 시간과 비용의 문제를 최소화 시킬 수 있도록 실험횟수의 증가폭을 최소화 하는 방법으로 고안되었다.

규격항목	규격기준	측정기준	
비 관통홀 Top Size	45~75um	비 관통홀 단면 파괴 후	
수지 (Resin) 잔사	4um이하 일것	측정값	

[표. 3-9] 반도체 기판 제품 규격

. 샘플링 사이즈 : 각 인자 수준별 30개

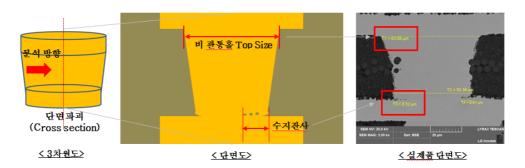
. 실험장비: 진공플라즈마, 디스미어(Desmear)설비

. 측정장비: SEM(배율:2K)

. 측정값: 비 관통홀 Top Size, 수지(Resin) 잔사 [표. 3-1]

. 시편: 신규소재(PPO수지)

측정값은 평균, 최소, 최대값을 모두 기록하여 단1개라도 규격 기준을 벗어나게 되면 최적 조건으로 선택 할 수 없는 조건으로 빨간색으로 표시하고 규격에 문제가 없는 조건들은 녹색으로 구분 표기하였다 [표. 3-11]



[그림. 3-8] 분석 방법 및 실제품 이미지(SEM image)
[그림. 3-8]은 실험 후 측정을 위한 측정 방법을 나타내었다.
조건별 시료 처리 후 비 관통홀(Laser Via Hole)을 단면을 파괴 연마
(Cross section)를 진행하고 파괴 된 단면을 SEM을 이용하여 관찰하고
치수를 측정한다.

습식에칭량 건식에칭량	0.5um	1.0um	1.5um	2.0um
0um	0.5um(현조건)			
0.5um	1.0um	1.5um	2.0um	2.5um
1.0um	1.5um	2.0um	2.5um	3.0um
1.5um	1.5um 2.0um		3.0um	3.5um
2.0um	2.5um	3.0um	3.5um	4.0um

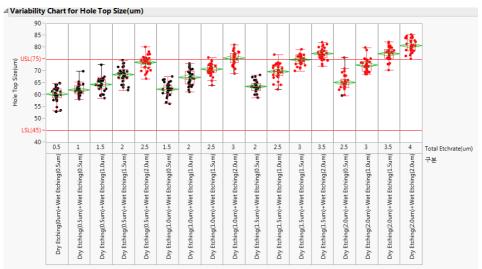
[표. 3-10] 최적구간 확인을 위한 실험계획표

2. 규격을 반영한 수지 남음 해석

[그림. 3-9]은 건식/습식식각량별 비 관통홀 Top Size 분석결과를 나타내었다. 건식식각+습식식각량의 총합이 2.5um이상에서는 제품 규격을 벗어나는 문제가 확인되었다. 전체적으로 식각량이 증가하면서 비 관통홀의 확장은 양의 상관 관계로 확장되는 데이터를 보였다.

습식식각량만 0.5um적용시 비 관통홀 Size는 평균 60.3um, 최대값 64.9um를 보였고 건식식각량 0.5um + 습식식각량 2.0um조건에서는 비 관통홀 Size의 평균값이 73.6um였으나 최대값이 80.1um로 규격 상한인 75um를 초과하는 것으로 확인되었다. 반면, 건식식각량 2.0um + 습식식각량 0.5um에서는 비 관통홀 Size의 평균이 65.1um, 최대값은 75.6um로 확인이 되었다.

이를 근거로 비 관통홀(Laser Via Hole) Top Size는 습식식각량에 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 비 관통홀 Top Size의 규격을 만족하는 인자수준은 습식식각량 0.5um > 건식식각량 0.5um + 습식시각량 0.5um = 건식식각량 1.0um + 습식식각량 0.5um = 건식식각량 1.0um + 습식식각량 1.0um + 습식식각량 1.0um + 습식식각량 1.0um + 습식식각량 1.0um

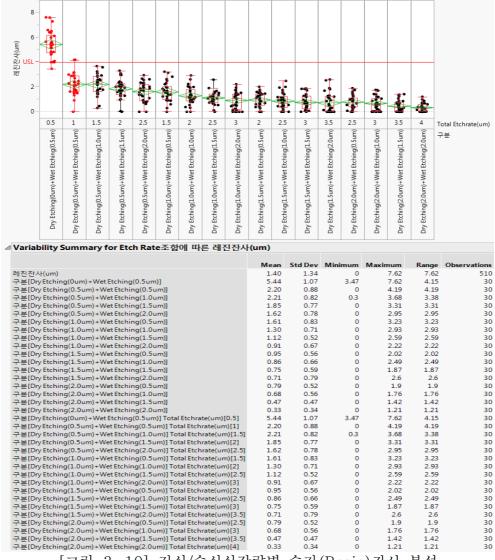


		C. I.D.				01
				Maximum	_	Observation
ole Top Size(um)	69.74	6.64	52.83	85.33	32.5	510
분[Dry Etching(0um)+Wet Etching(0.5um)]	60.31	3.09	52.83	64.88	12.05	3(
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(0.5um)]	62.02	2.52	58.13	69.9	11.77	3(
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(1.0um)]	64.32	2.94	58.55	72.61	14.06	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(1.5um)]	68.46	3.21	61.94	74.51	12.57	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(2.0um)]	73.65	3.08	66.76	80.12	13.36	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(0.5um)]	62.34	2.72	56.19	67.7	11.51	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(1.0um)]	67.30	3.26	61.18	73.16	11.98	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(1.5um)]	70.79	2.50	63.99	75.67	11.68	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(2.0um)]	75.51	2.78	68.91	81.03	12.12	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(0.5um)]	63.47	2.41	58.77	68.31	9.54	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(1.0um)]	69.73	3.09	62.28	76.88	14.6	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(1.5um)]	74.74	2.16	70.05	79.15	9.1	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(2.0um)]	77.33	2.38	72.13	82.08	9.95	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(0.5um)]	65.16	3.32	59.65	75.66	16.01	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(1.0um)]	72.50	2.74	68.67	79.85	11.18	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(1.5um)]	77.25	2.77	70.39	82.22	11.83	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(2.0um)]	80.70	2.79	75.09	85.33	10.24	3
분[Dry Etching(0um) + Wet Etching(0.5um)] Total Etchrate(um)[0.5]	60.31	3.09	52.83	64.88	12.05	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(0.5um)] Total Etchrate(um)[1]	62.02	2.52	58.13	69.9	11.77	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(1.0um)] Total Etchrate(um)[1.5]	64.32	2.94	58.55	72.61	14.06	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(1.5um)] Total Etchrate(um)[2]	68.46	3.21	61.94	74.51	12.57	3
분[Dry Etching(0.5um)+Wet Etching(2.0um)] Total Etchrate(um)[2.5]	73.65	3.08	66.76	80.12	13.36	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(0.5um)] Total Etchrate(um)[1.5]	62.34	2.72	56.19	67.7	11.51	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(1.0um)] Total Etchrate(um)[2]	67.30	3.26	61.18	73.16	11.98	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(1.5um)] Total Etchrate(um)[2.5]	70.79	2.50	63.99	75.67	11.68	3
분[Dry Etching(1.0um)+Wet Etching(2.0um)] Total Etchrate(um)[3]	75.51	2.78	68.91	81.03	12.12	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(0.5um)] Total Etchrate(um)[2]	63.47	2.41	58.77	68.31	9.54	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(1.0um)] Total Etchrate(um)[2.5]	69.73	3.09	62.28	76.88	14.6	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(1.5um)] Total Etchrate(um)[3]	74.74	2.16	70.05	79.15	9.1	3
분[Dry Etching(1.5um)+Wet Etching(2.0um)] Total Etchrate(um)[3.5]	77.33	2.38	72.13	82.08	9.95	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(0.5um)] Total Etchrate(um)[2.5]	65.16	3.32	59.65	75.66	16.01	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(1.0um)] Total Etchrate(um)[3]	72.50	2.74	68.67	79.85	11.18	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(1.5um)] Total Etchrate(um)[3.5]	77.25	2.77	70.39	82.22	11.83	3
분[Dry Etching(2.0um)+Wet Etching(2.0um)] Total Etchrate(um)[4]	80.70	2.79	75.09	85.33	10.24	3

[그림. 3-9] 건식/습식식각량별 비 관통홀 Top Size 분석
[그림. 3-10]는 건식/습식식각량별 수지(Resin)잔사 분석 결과값으로 습식식량만 0.5um 적용한 조건과 건식식각량 0.5um + 습식식각량
0.5um 적용 조건에서만 규격을 벗어나는 문제가 확인되었다.
그 외에 모든 조건들은 규격내에 들었고 건식/습식식각량의 총합이 증가할수록 수지(Resin)잔사의 양은 줄어드는 음의 상관관계를

나타내었다. 건식식각량 0.5um + 습식식각량 1.5um 조건에서 수지(Resin)잔사는 평균 1.85um, 최대 3.31um를 나타내었고 건식식각량 1.5um + 습식식각량 0.5um 조건에서는 평균 0.95um, 최대 2.02um를 나타내었다. [그림. 3-10]과 같이 수지(Resin)잔사는 건식식각량에 더 큰 영향을 받는 다는 것을 알 수 있었고 이는 신규소재(PPO수지)의 특성으로 기존소재 대비 화학적 반응성이 낮은 안정성이 높은 구조로 건식식각(Plasma)에 보다 더 높은 반응성을 보인다는 본 연구의 이론 연구와 동일한 결과를 보였다.

△ Variability Chart for Etch Rate조합에 따른 레진잔사(um)



[그림. 3-10] 건식/습식식각량별 수지(Resin)잔사 분석

습식에청량 건식에청량		0.5um		1.0um		1.5um		2.0um					
		평균값	최대값	최소값									
Oum	레진잔사	5.44	7.62	3.47									
Oum	Hole Top Size	60.31	64.88	52.83									
0.5um	레진잔사	2.20	4.19	0.52	2.21	3.68	0.3	1.85	3.31	0.05	1.62	2.95	0.25
0.5um	Hole Top Size	62.02	69.90	58.13	64.32	72.61	58.55	68.46	74.51	61.94	73.65	80.12	66.76
1.0um	레진잔사	1.61	3.23	0.42	1.30	2.93	0.32	1.12	2.59	0.12	0.91	2.22	0.14
1.0um	Hole Top Size	62.34	67.70	56.19	67.30	73.16	61.18	70.79	75.67	63.99	75.51	81.03	68.91
1.5	레진잔사	0.95	2.02	0.27	0.86	2.49	0.16	0.75	1.87	0.07	0.71	2.60	0
1.5um	Hole Top Size	63.47	68.31	58.77	69.73	76.88	62.28	74.74	79.15	70.05	77.33	82.08	72.13
9.0	레진잔사	0.79	1.90	0.08	0.68	1.76	0.05	0.47	1.42	0.07	0.33	1.21	0
2.0um	Hole Top Size	65.16	75.66	59.65	72.50	79.85	68.67	77.25	82.22	70.39	80.70	85.33	75.09

[표. 3-11] 건식/습식 식각량별 최적 구간

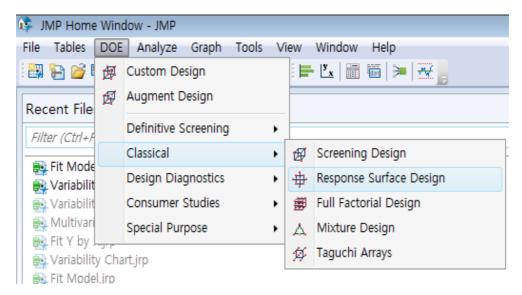
[표. 3-11] 은 건식/습식식각량 조합별 비 관통홀 Top Size와 수지 (Resin) 잔사의 측정값을 정리한 표 이다. 표에서 보듯이 각 조건별 30개의 측정값에서 모든 측정값이 규격기준 2가지를 모두 만족하는 건식/습식 식각량은 습식식각량 0.5~1.5um 구간내 포함되어 있고 건식식각량 1.0~1.5um 범위내에 존재하는 것으로 파악되었다.

3. 최적 조건 설계

앞선 실험을 통해 규격을 반영한 수지(남음)모델링을 통해 신규 소재의 건식/습식식각량에 따른 비 관통 홀 Top Size와 수지 잔사의 상관 관계 를 확인 할 수 있었다. 대략적으로 확인 된 건식/습식 식각량의 최적값 을 표면반응분석법을 통해서 검증하고 설계하고자 한다.

실험의 계획과 설계, 해석은 통계 프로그램을(JMP)를 활용하여 실험의 오차를 명확히 하였고 이를 바탕으로 해석의 정확도를 올렸다.

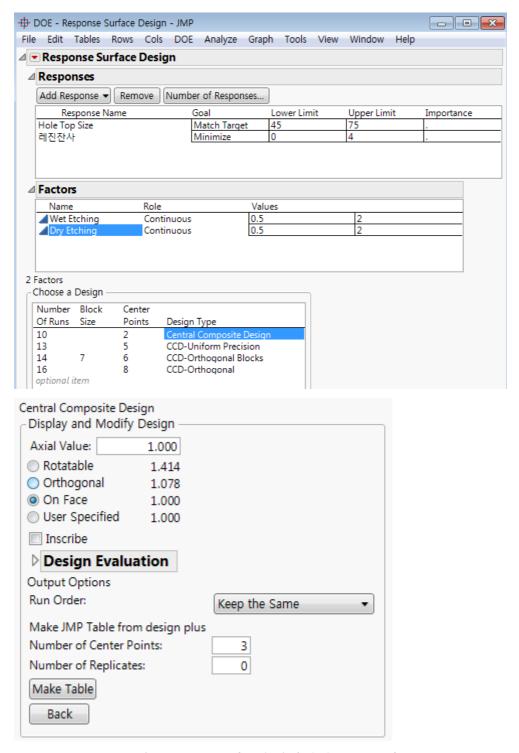
[그림. 3-11] 은 표면반응분석법(JMP분석)으로 실험의 설계를 진행하였다.



[그림. 3-11] 표면반응분석법(JMP분석)

[그림. 3-12]와 같이 결과값이 되는 측정값의(Y1: 비 관통홀 Top Size, Y2: 수지잔사)규격값을 입력하였다. 그리고 인자에 대한 정의와 (X1: 건식식각량, X2: 습식식각량) 인자의 수준값에 대한 전체 범위를 입력하였다(0.5~2.0um). [표. 3-5] 측정값 및 인자 수준 범위

실험의 설계는 시간과 비용의 문제를 최소화 시킬 수 있도록 실험횟수의 증가폭을 최소화 하는 방법으로 고안된 중심합성계획법(CCD: Central Composite Design)을 이용하였고 실험의 정확도와 실험 오차값의 정량화를 위해 인자 수준별 중심치 값에 대한 3회 반복을 실시하였다.

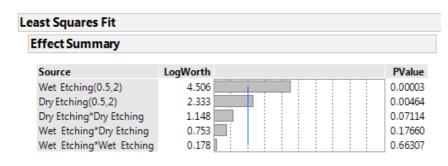


[그림. 3-12] 표면반응실험설계(JMP분석)

구분	항목	범위
호정기	Y1:비 관통홀 Top size	45~75um
측정값	Y2:수지(Resin)잔사	0~4.0um
인자	X1:습식에칭량	0.5~2.0um
인사	X2:건식에칭량	0.5~2.0um

[표. 3-12] 측정값 및 인자 수준 범위

측정값의 변화에 주요한 영향을 미치는 인자가 무엇인지를 알아 볼 수 있는 주효과 분석의 결과[그림. 3-13] 주효과분석(JMP분석)는 습식식각/건식식각 2가지 인자가 모두 유의수준 5% 에서 유효한 인자로 나타났다.(P Value<0.05)



[그림. 3-13] 주효과분석(JMP분석)

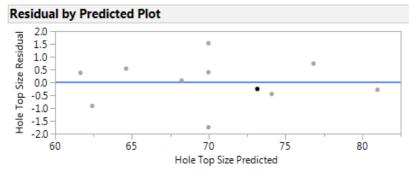
건식/습식 식각량의 변화에 따른 비 관통홀 Top Size 측정값에 대한 회귀분석의 결과이다. [그림. 3-14]

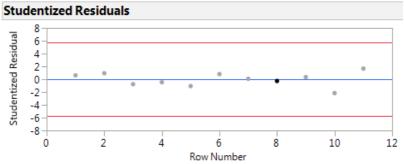
실험을 통해 확인 된 회귀분석의 결과값은 약 98.4%의 우수한 적합도를(RSq > 64%)가지고 있으며 실험의 잔차값들은 이상점이나 영향점이 없이 안정적인 값들을 보여주고 있다.

Response Hole Top Size **Actual by Predicted Plot** Hole Top Size Actual

Lack Of F	it			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Lack Of Fit	3	2.1739539	0.72465	0.2610
Pure Error	2	5.5526000	2.77630	Prob > F
Total Error	5	7.7265539		0.8508
				Max RSq
				0.9846

Hole Top Size Predicted RMSE=1.2431 RSq=0.98 PValue=0.0004



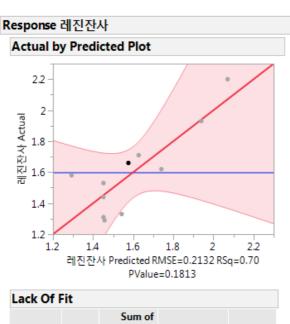


[그림. 3-14] 비 관통홀 Hole Size분석(JMP분석)

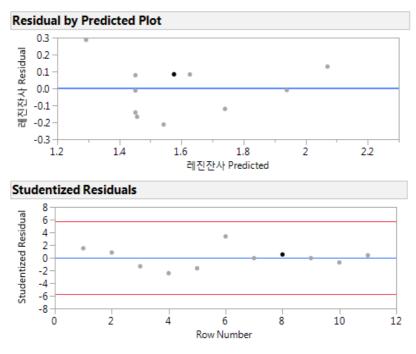
건식/습식 식각량의 변화에 따른 수지(Resin) 잔사 측정값에 대한 회귀분석의 결과이다. [그림. 3-15]

비 관통홀 Top Size의 결과값과 같이 실험을 통해 확인 된 회귀분석의 결과값은 약 96.8%의 우수한 적합도를(RSq > 64%)가지고 있으며 실험의 잔차값들은 이상점이나 영향점이 없이 안정적인 값들을 보여주고 있다.

[그림. 3-14], [그림. 3-15]의 분석 값은 조건 설계를 위한 실험이 정상적으로 잘 설계되었고 측정값들을 신뢰 할 수 있음을 보여준다



Lack Of F	it			
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Lack Of Fit		0.20287719	0.067626	5.5280
Pure Error	2	0.02446667	0.012233	Prob > F
Total Error	5	0.22734386		0.1570
				Max RSq
				0.9682

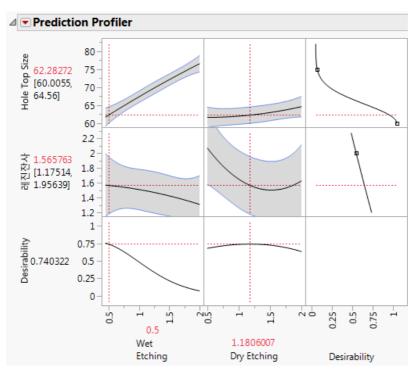


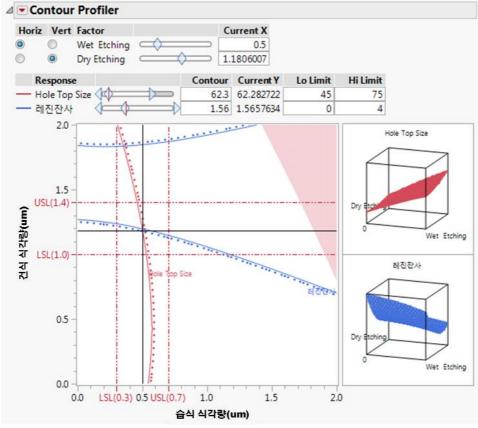
[그릮. 3-15] 수지(Resin) 잔사 분석(JMP분석)

결과로 얻어진 회귀식을 이용하여 건식/습식식각별 최적의 식각량을 시뮬레이션 진행하였다 [그림. 3-16]

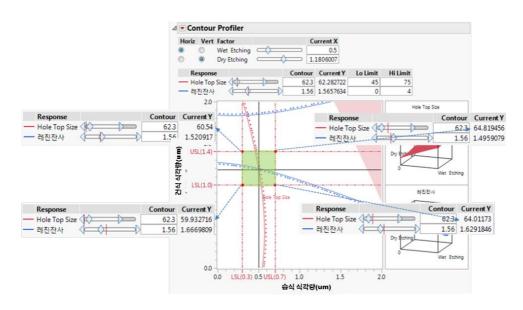
건식식각량 1.18um, 습식식각량 0.5um 에서 결과값이 되는 비 관통홀 Top Size는 62.28um, 수지잔사는 1.56um로 추정 되었다. 이 값들은 모두 규격을 충분히 대응 할 수 있는 우수한 결과값이다.

측정값과 반응값에 대한 등고선도(Contour Plot)의 결과에서도 동일한 결과값을 볼 수 있다. 비 관통홀 Top Size는 건식식각량의 변화에 따라 거의 상관성이 없었고 습식식각량량에 대해서는 강한 양의 상관성을 나타내었다. 수지(Resin)잔사는 습식식각량의 증가에 따라 소량 감소하는 결과를 보여주었다. 반면, 건식식각량의 증가에 따라서는 초기구간(0.5~1.5um)까지 급격한 감소 현상이 나타나며 변곡점인 1.5um를 넘어서는 구간부터는 더 이상의 축소 현상이 나타나지 않고 소폭 증대하는 결과가 보였다. 미미한 차이지만 건식식각량 증가에 따른 비 관통홀 벽면의 추가 식각현상에 의한 수지(Resin)잔사로 확인된다.





[그림. 3-16] 안전 조건 설계(JMP분석)



[그림. 3-17] 코너(Corner)평가 결과(JMP분석)

에칭량	결과값	비 관통홀 Top Size	수지(Resin)잔사
습식에칭량	건식에칭량		
0.3um	1.0um	59.93um	1.66um
0.3um	1.4um	60.54um	1.52um
0.7um	1.0um	64.01um	1.62um
0.7um	1.4um	64.81um	1.49um

[표. 3-13] 식각량별 최적 결과값

[그림. 3-17] 코너(Corner)평가 결과(JMP분석)에서 보듯이 신규소재(PPO수지)는 건식식각량 1.18um, 습식식각량 0.5um에서 최적의결과값을 보여주고 식각량의 자연변동을 반영한 안전 조건 실험의결과와 같이 [표. 3-13] 비 관통홀 Top Size는

59.93~64.81um(규격: 45~70um) 내에 분포하고 수지(Resin) 잔사는 1.49~1.66um(규격: 0~4.0um) 범위 내에 안정적으로 분포하는 것을 확인 할 수 있다.

제 4 장 결론

본 논문에서는 5G고속 통신을 요구하는 반도체 기판의 소재 특성 변화에 따른 수지(Resin) 잔사에 대한 이론적 연구와 실질적인 실험을 통해 저 유전 절연층의 수지의 분자 구조 특성으로 인해 발생하는 건식식각(Plasma)과 습식식(과망간산에칭) 간의 식각량 상관성에 관한 연구를 진행하였고 저 유전 절연층인 신규 소재는 PPO(Polv Phenylene Oxide) 수지를 접목한 것으로 소재가 가지는 낮고 안정적인 극성과 소수성(Hydrophobic)의 특성을 가지고 있어 기존 방식인 습식식각(과망간산에칭)으로는 수지(Resin)잔사를 해결 할 수 없다는 것을 증명하였다. 이를 위해 건식식각(Plasma)을 접목하여 C-C결합을 CF4/O2 Gas로 식각을 하고 또 표면개질 효과를 통해 습식식각효과를 극대화 할 수 있다는 것도 증명하였다. 또한 소재별 습식식각(과망간산), 건식식각(Plasma)의 인자(Factor), 수준(Level)별 차이를 실험을 통해 소재별 식각량의 상관성에 대해 정량적으로 검증 하였고 이론과 동일한 결과값을 얻어 낼 수 있었다. 또한 제품의 규격사항인 수지(Resin)남음, 비 관통구멍(Via Hole Top Size)를 만족하는 최적조건을 실험계획법(표면반응분석범)을 통해서 찾을 수 있었다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 저 유전 소재인 PPO수지는 수용성 극성기 (-OH)가 없이 C-C결합으로 이루어져 있고 이러한 분자 결함으로 Chemical반응성이 떨어지고 수분을 흡수는 능력이 떨어지는 소수성(Hydrophobic)의 특성을 가지고 있다. 그리고 전기적으로 극성이(Polarization)낮고 자유부피(Free Volume)이 크게 되어 낮은 유전 손실의 특성을 가지게 되는 것이다

- 2. 습식식각(과망간산에칭)/건식식각(Plasma)하 에서 기존소재(에폭시 수지)와 신규소재(PPO수지)의 서로 다른 식각량(Etchrate)을 보여주었다. [그림. 2-7], [그림. 2-8] 기존소재의 경우 동일 조건에서 약 1.25um의 식각량을 보이며 신규소재의 경우 절반 수준인 0.64um를 나타내었다. 반면, 건식식각의 경우는 반대의 결과로 기존소재의 경우 1.14um 그리고 동일 한 조건에서 신규소재는 1.66um로 나타났다.
- 3. 표면반응 실험 분석법을 바탕으로 실험 및 모델링을 통한 최적 조건 설계를 하였고 건식식각량은 1.0~1.4um, 습식식각량은 0.3~0.7um 조건에서 규격을 만족하는 최적의 결과값을 얻을 수 있었다. [표. 3-13]

참 고 문 헌

- [1] L. Yang, J. B. Bernstein, and K. C. Leong, IEEE Transactions on Electronics Packing Manufacturing 25, 91 (2002).
- [2] S. Luo and C. P. Wong, IEEE Transactions on Electronics Packing Manufacturing 26, 345 (2003).
- [3] H. S. Uhm, Journal of the Korean Vacuum Society 15, 117 (2006).
- [4] T. Yamamoto, J. R. Newsome, and D. S. Ensor, IEEE

 Transanctions on Industry Applications 31, 494 (1995).
- [5] M. C. Kima, S. H. Yanga, J. -H. Boob, and J.G. Hanb, Surface & Coating Technology 174, 839(2003).
- [6] C. Lee, S. Lee, and B. Kim, Transactions of the KSME A 32, 354 (2008).
- [7] S. J. Lee, H. S. Shin, J. W. Suk, G. W, Jang, and Y. H. Baek, Journal of the Korean Vacuum Society
- [8] K. S. Lee and S. J. Ryu, Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology 8, 15 (2009).
- [9] D. Linaschke, M. Leistner, P. Grabau, and G. Mader, IEEE Transactions on Plasma Science 37, 979 (2009).

- [10] G.-K. Kim, Journal of the Electronics Engineers of Korea 45, 333 (2008).
- [11] 민병각, 에폭시/PPO 블랜드물의 제조 및 특성 분석 820, 821 (2001).
- [12] 유선중, 패키지 기판 디스미어 공정의 대기압 플라즈마 처리 특성 (2009).
- [13] 김순태, 유리섬유/에폭시 복합절연재료의 계면 접착력 개선에 관한 연구 (1995).
- [14] 이은영, Effect of chemical structure on the electrical properties of epoxy resins (2016).
- [15] 두산전자, 절연층 분석 및 제작 자료(2019).
- [16] Advanced Micro System Fabrication and Lab(2016)
- [17] 제4기 한국, Plasma공법 자료(2018).
- [18] Atotech Korea, Desmear Process 자료(2019).

ABSTRACT

Demand for Radio Frequency System In Package (Radio Frequency) in high frequency area is rapidly increasing. As a result, the importance of low-loss, high-frequency genetic material to reduce noise between frequencies is increasing.

In particular, identifying problems in the process of manufacturing semiconductor substrates due to the changing characteristics of materials has emerged as an important issue. Therefore, the purpose of this study is to study the mechanism of why resin residue defects occur in the bottom area of the non-penetrating hole, one of the biggest reliability items of the semiconductor substrate, and to draw up measures to eliminate the reliability deficiencies at source.

This study aims to study the effects of existing materials and material properties of low-loss high-frequency dielectric materials (low Dk&Df) on dry and wet etching processes.

To this end, the differences in the molecular structure of the material were first analyzed and theoretical studies were conducted on the reactivity of the material during the dry/wet etching process. The etching process was targeted for dry and wet etching processes using plasma and permanganate. To quantify the etching process, the depth of the hole in the specimen before and after the etching process was measured to assess the residual amount of the resin.

Experiments have shown that the chemical and plasma reactivity varies depending on the resin that constitutes the genetic material. In addition, the material and etching process variables were

identified to quantify the etching process results to verify the validity of the theory.

Finally, an optimal etching process was designed by conducting a surface response experiment by setting the residual and non-penetrating hole sizes as dependent variables and dry/wet etching quantities as independent variables.

Keywords: Low loss high frequency dielectric material,

Plasma / Permanganate / Etching

Resin, Prepreg, PPO (Poly phenylene Oxide)

Student Number: 2019-26026