한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'20-10, Vol.13 No.5
논문 20-13-05-412 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2020.13.5.412

$FeCl_3$를 이용한 SUS MASK 에칭에 관한 연구

이우식*

A Stdudy on SUS MASK Etching using of $FeCl_3$

Woo-Sik Lee*

요 약 본 논문은 에칭액$FeCl_3$)의 비중을 정확히 제어할 수 있는 자동 액 관리시스템을 제작하여 OLED에 적용되는 SUS MASK 제작하였다. 그리고 홀 직경을 0.4 mm로 목표치를 정하였다. 본 실혐 결과, $FeCl_3$의 비중(S.G) 값을 1.43에서 1.49까지 변화를 주었을때 에칭 속도는 빨라졌다. 그리고 비중이 1.49일 때, 홀직경이 0.405 mm로의 목표치에 접근한 것을 알 수가 있었다. 압력분사를 2.0 kg/cm2~3.5 kg/cm2까지 변화를 주었을 때 3.0 kg/cm2에서 홀 직경은 평균 0.4 mm로 목표치와 일치하였다. $FeCl_3$에 HCl과 H2O을 혼합하여 비중을 1.430으로 설정하고 분사 압력을 3.0 kg/cm2으로 고정시키고 첨가제를 1.2%로 적용하여 비중 변화에 따른 특성을 분석하였다. 비중을 1.460 ~ 1.469까지 변화주었을 때 비중이 증가할수록 에칭속도는 0.564에서 0.540으로 빨라졌다. 그리고 비중이 1.467일 때 홀 직경이 0.4 mm로 측정되어 목표치에 도달하였다.

Abstract This paper produced an automatic fluid management system that can accurately control the specific gravity of etching solution($FeCl_3$), and produced a SUS MASK applied to OLED. The target was set at 0.4 mm in diameter of the hole. As a result of this misconception, the etching speed increased when the specific gravity(S.G) value of $FeCl_3$ was changed from 1.43 to 1.49. And when the weight was 1.49, it was found that the vertical diameter was 0.405 mm, approaching the target. When pressure injection was varied from 2.0kg/cm2 to 3.5kg/cm2, the hole diameter at 3.0 kg/cm2 averaged 0.4mm, matching the target. The characteristics of the change in gravity were analyzed by applying the additive 1.2% and setting the weight at 1.430 by mixing HCl and H2O in $FeCl_3$ and fixing the injection pressure at 3.0 kg/cm2. When the weight changed from 1.460 to 1.469 the etching speed increased from 0.564 to 0.540. When the weight was 1.467, the hole diameter was measured at 0.4 mm and the target was reached.

Key Words : etching speed, $FeCl_3$, hydrochloric acid, OLED, SUS mask, specific gravity

1. 서론

현재 유기발광디스플레이(OLED)는 국내·외에서 OLED TV와 스마트폰의 수요 증가로 인하여 빠른 속도로 증가되고 있다. 이에 따라 OLED 제조공정에 사용되는 SUS MASK 또한 수요가 증가할 것으로 전망되고 있다[1,2,3].

현재 SUS MASK 에칭공정에 사용되고 있는 Dump out 방식은 스테인레스 소재의 에칭 방법으로, 염화제이철($FeCl_3$) 일정량을 사용한 후 폐기함으로써 에칭액 관리의 불안정성으로 인하여 단위 에칭성(Etch factor)의 저하 및 약품 농도 변화에 따른 재현성 저하로 인하여 초정밀 에칭 부품 가공에서 균일한 에칭 가공에 한계가 있다[4,5]. 그리고 기존의 에칭액 관리 방법으로는 에칭 약품 사용량의 증가로 과다한 폐기물이 발생하여 처리 비용과 환경에

*Department of Chemical & Biological Engineering, Gachon University
*Corresponding Author : Department of Chemical & Biological Engineering, Gachon University (leews@gachon.ac.kr)
Received October 03, 2020 Revised October 22, 2020 Accepted October 22, 2020

도 많은 영향을 주고 있다. 또한 염화제이철 약품을 사용하여 에칭 가공기술을 스테인레스 스틸 소재가 염화제이철 에칭액에 용해되면서 철과 불순물의 함량이 증가하게 되어 이로 인한 약품의 순도 저하로 이어진다[6,7,8].

SUS MASK 제조방법은 비중 및 산화화원전위를 수동으로 조절하여 제작을 하여 정밀도가 떨어졌다[9].

본 논문에서는 염화제이철 약품의 에칭성을 일정하게 유지 관리 할 수 있는 자동 액 관리 시스템의 개발로 에칭 가공정밀도를 획기적으로 향상시키는데 목적을 두었다. 또한 자동 액 관리 시스템 기술개발은 염화제이철을 이용한 스테인레스 소재 에칭시 최적의 산화환원전위(ORP : Oxidation Reduction Potential)와 비중(SC : Specific gravity)을 일정하게 유지 관리함으로써 스테인레스 소재의 에칭 가공능력을 향상할 수 있다. 특히 미세 다중 홀 가공기술 확보가 필요한 OLED용 정전척의 유전막을 형성하는데 사용되는 SUS MASK의 정밀도와 품질 개선, 제품의 불량률 및 폐기물을 감소할 수 있는 친환경적인 기술개발에 목적을 두었다.

2. 이론적 배경

OLED를 제작할 때는 SUS MASK가 필수적이다. 고해상도가 요구되고 있는 OLED용 유리기판에 회로를 형성시킬 때 dry 에칭 공정이 필수적이다. 에칭공정은 기판과 하부전극의 간격을 일정하게 유지시키기 위하여 정전기를 균일하게 발생시키는 유전막이 증착된 정전척(ESC)이 필요하며 이때 사용되는 유전막 증착용 마스크가 SUS MASK라고 한다.

일반적 스테인레스 강판의 에칭공정은 에칭용액의 pH와 분사압력 등에 의하여 식각이 진행된다. 염화제이철 수용액에 의한 Fe, Cr의 식각반응식은 식(1), 식(2)와 같이 나타낸다.[10]

$$2FeCl_3 + Fe \leftrightarrow 3FeCl_2 \quad (1)$$

$$2FeCl_3 + Cr \leftrightarrow 2FeCl_2 + CrCl_2 \quad (2)$$

식(3)의 부반응들도 반응기 내에서 반응한다.

$$CrCl_2 \leftrightarrow CrCl_3$$

$$CrCl_2 + FeCl_3 \leftrightarrow CrCl_3 + FeCl_2$$

$$3FeCl_3 + Cr \leftrightarrow 3FeCl_2 + CrCl_3 \quad (3)$$

식(1), (2)와 (3)을 합치면 식(4)가 된다

$$2.18FeCl_3 + 0.82Fe + 0.18Cr \leftrightarrow 3FeCl_2 + 0.18CrCl_3 \quad (4)$$

위 식각반응들은 표면에 위치한 반응부분과 식각액 속에 함유된 Fe^{3+} 이온 간의 전자이동 메카니즘에 의해 이루어진다. 실제로 Fe^{3+} 이온이 식각액 내부로부터 금속표면으로 확산되어 금속 표면에 흡착되어서 금속표면에서 전자이동이 일어난다. 식(5), (6)으로 표현할 수 있다.

$$2Fe^{3+} + Fe^0 \rightarrow 3Fe^{2+} \quad (5)$$

$$3Fe^{3+} + Cr^0 \rightarrow 2Fe^{2+} + Cr^{3+} \quad (6)$$

그리고 금속표면으로부터의 Fe^{2+}이온과 Cr^{3+}이온이 탈착되고 탈착된 이온들은 에칭액 내부로 확산되므로 에칭공정이 이루어진다.

염화제이철 약품을 사용하는 스테인레스 금속소재의 에칭 가공기술은 에칭액의 불균일한 공급과 비중 및 분사압력의 변화로 인하여 에칭 가공시 스테인레스 금속 소재가 염화제이철 에칭액에 용해되면서 철과 불순물의 함량이 증가하게 되어 에칭액의 순도 저하로 이어진다. 그로 인해 초정밀 에칭 부품의 정밀도 및 균일한 품질의 부품을 가공하는데 있어 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 에칭성을 일정하게 유지 관리 할 수 있는 자동 액 관리 시스템을 사용하였다. 그리고 염화제이철 약품(에칭액)의 비중 및 분사압력에 따른 에칭의 최적의 조건을 찾아 에칭의 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 조건을 찾고자 하였다.

3. 실험 및 결과

본 논문에서 ORP와 비중을 실시간으로 제어하고

$FeCl_3$, HCl, H_2O를 정량 공급 할 수 있는 자동 액관리 시스템을 이용하여 홀 직경을 0.4 mm으로 목표치로 설정하여 실험하였다. 자동 액 관리 시스템의 체계도를 그림 1에 나타냈다. 그림 1에서 ORP는 산화환원전위를, S.G는 비중 측정을, pH는 수소이온 농도를 측정하는 곳이다. 각 부분에서 측정된 데이터를 센서 박스로 전송하여 디스플레이 되게 된다. 화면에서 설정된 값이 변동이 되면 I/B Board에서 Auto Supply Pump를 제어하여 $FeCl_3$, HCl, H_2O의 밸브를 자동으로 on/off를 시켜서 ORP 및 비중을 제어하는 시스템이다.

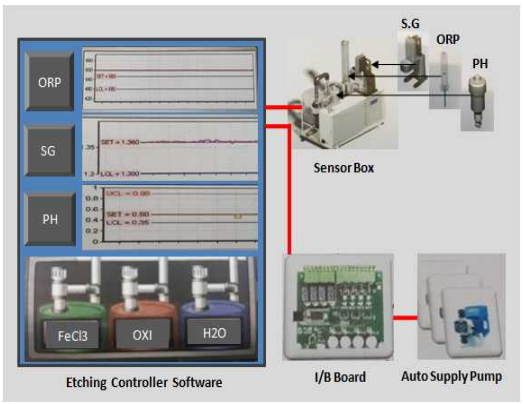

그림 1. 자동 액 관리 시스템의 구성도
Fig. 1. configuraion diagram of automatic liquid management system

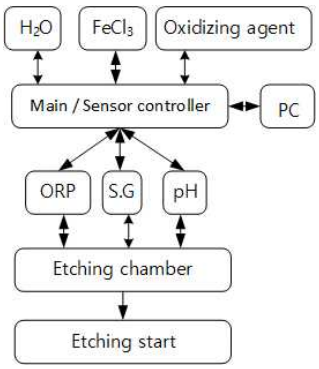

그림 2. 자동 액 관리 시스템의 순서도
Fig. 2. Flowchart of automatic liquid management system

첫 번째 실험으로는, 제작된 자동 액관리 시스템을 이용하여 $FeCl_3$의 비중 변화에 따른 에칭 속도에 미치는 영향을 알아보기 위해 최적의 비중값 측정 실험을 진행하였다. 실험방법으로는 $FeCl_3$ 에칭액(비중 1.45)에 HCl과 H_2O를 6 : 4 비율로 혼합하여 비중을 1.43으로 낮춘 후, 에칭 작업을 시작하여 비중 값을 1.49까지 상승시키면서 진행하였다. 그 결과로부터 비중 변화에 따른 에칭 속도의 변화율과 에칭시 sheet Hole에 대한 편차 분석을 하였다.

표 1. S.G 대 에칭 속도
Table 1. S.G vs Etching speed

Specific gravity	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49
Etching speed (m/min)	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.49

표 1에 나타낸 것과 같이 비중이 증가할수록 에칭 속도가 감소함을 확인할 수 있으며, 비중 값이 1.46까지는 에칭 속도의 변화폭이 적으나 1.47 이후 시점부터는 에칭 속도의 감소폭이 빨라지는 현상으로 측정되었다. 즉 비중이 높을수록 에칭이 빠르다는 것을 알 수 있었다. 따라서 에칭속도의 변화폭이 적은 최적의 비중 값은 1.46임을 알 수 있다.

그림 3. SUS MASK sheet의 측정지점
Fig. 3. Measurement point at SUS MASK Sheet

그림 3과 같이 sheet를 20개 영역으로 나누어 각 위치별로 hole 크기를 측정하였으며 에칭액 비중 구간을 총 7구간으로 나누어 각 한 개 sheet 마다 샘플링하여 총 7개의 sheet의 hole 크기를 측정하였다.

표 2는 총 7회에 걸쳐 hole 편차의 실험결과를

나타낸 것으로 비중이 1.43 ~ 1.47 구간에서는 비중이 증가할수록 편차(Range)가 줄어드는 현상이 나타났으나 1.48 부터는 비중에 관계없이 증가 혹은 감소하는 경향으로 측정되었다.

표 2. 비중 변화에 대한 Sheet hole 편차 측정
Table 2. Sheet hole Range Measured of SG variety

Specific gravity	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1.43	0.412	0.352	0.467	0.115
1.44	0.417	0.356	0.465	0.109
1.45	0.410	0.361	0.463	0.102
1.46	0.417	0.364	0.460	0.096
1.47	0.411	0.368	0.463	0.095
1.48	0.425	0.369	0.466	0.097
1.49	0.405	0.364	0.458	0.094
Average	0.41	0.36	0.46	0.10

앞에 실험한 에칭액의 최적 비중을 1.46에 설정하고, 에칭기의 분사 압력(에칭압력)의 영향을 알아보기 위하여 2.0 Kg/cm^2, 2.5 Kg/cm^2, 3.0 Kg/cm^2, 3.5 Kg/cm^2로 각각 설정하여 Sheet내 Hole 치수 편차에 대한 비교 분석하였다.

표 3은 분사 압력을 2.0 Kg/cm^2,로 설정하여 5개 sheet에서 측정한 결과로 편차는 0.068 mm ~ 0.099 mm로 측정되어 평균 0.09 mm로 측정되었으며 홀 직경은 평균 0.41 mm로 측정되어 목표치에는 미달되었다.

표 4는 2.5 Kg/cm^2로 설정하여 측정한 결과를 나타냈다. 편차 범위는 0.095 mm ~ 0.089 mm로 평균 0.09 mm 측정되었고 홀 직경의 평균은 0.40 mm로 측정되었으나 편차 범위가 목표치에 미달되었다.

표 5는 분사 압력이 3.0 kg/cm^2일 때 편차 범위는 0.091 mm ~ 0.069 mm으로 평균값은 0.08 mm로 나타났다. 홀 직경은 평균 0.40 mm로 측정되어 목표치에 도달하였다.

표 3. 2.0 Kg/cm2의 측정값
Table 3. Measured value of 2.0 Kg/cm2

Sheet number	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1	0.424	0.359	0.458	0.099
2	0.425	0.370	0.449	0.079
3	0.410	0.358	0.452	0.094
4	0.400	0.363	0.431	0.068
5	0.413	0.362	0.459	0.097
Average	0.41	0.36	0.45	0.09

표 4. 2.5 Kg/cm2의 측정값
Table 4. Measured value of 2.5 Kg/cm2

Sheet number	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1	0.400	0.356	0.451	0.095
2	0.399	0.356	0.452	0.096
3	0.412	0.357	0.446	0.089
4	0.398	0.362	0.455	0.093
5	0.401	0.357	0.450	0.093
Average	0.40	0.36	0.45	0.09

표 5. 3.0 Kg/cm2의 측정값
Table 5. Measured value of 3.0 Kg/cm2

Sheet number	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1	0.402	0.372	0.442	0.070
2	0.380	0.356	0.447	0.091
3	0.390	0.352	0.441	0.089
4	0.418	0.376	0.445	0.069
5	0.389	0.352	0.430	0.078
Average	0.40	0.36	0.44	0.08

표 6은 분사압력이 3.5 Kg/cm^2일 때 편차 범위가 0.092 mm ~ 0.064 mm로 편균 0.07 mm로 측정되었고 홀 직경의 평균은 0.39 mm로 측정되어 목표치인 0.4 mm 보다 적게 측정되었다.

결론적으로 분사압력을 증가시키면 홀 직경의 목표치인 0.4 mm에 접근할 수가 있으나 편차 범위가 목표치에 도달하지 못한 것으로 나타났다.

그리고 분사압력을 3.5 kg/cm^2로 높였을 경우는 3.0 kg/cm^2 조건보다 과다 에칭 현상으로 인하여 최대 0.002~0.003 ㎜의 편차가 늘어나는 것으로 나타났으므로 에칭 분사압력은 3.0 kg/cm^2 값이 최적

값임을 알 수 있다.

또 $FeCl_3$ 에칭액에 염산과 물을 혼합하여 비중을 1.460~1.469까지, 첨가제를 1.2% 투입하고, 분사압력을 3.0 kg/cm^{2}으로 유지하여 비중의 변화를 주면서 에칭속도 및 Sheet hole 편차를 알아보기 위한 실험을 하였다.

표 6. 3.5 Kg/cm2의 측정값
Table 6. Measured value of 3.5 Kg/cm2

Sheet number	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1	0.383	0.356	0.448	0.092
2	0.381	0.351	0.423	0.072
3	0.403	0.361	0.427	0.066
4	0.382	0.354	0.434	0.080
5	0.411	0.374	0.438	0.064
Average	0.39	0.36	0.43	0.07

그림 4, 5는 표 3~6에서의 hole 크기와 편차를 그래프로 나타내었다.

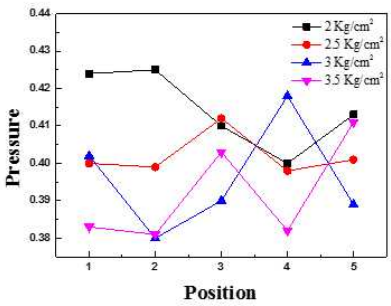

그림 4. Hole 크기
Fig. 4. Size of hole

표 7은 비중 변화에 따른 에칭속도를 측정한 결과를 나타낸 것으로 비중이 증가할수록 에칭속도가 빨라지는 것을 알 수가 있었다.

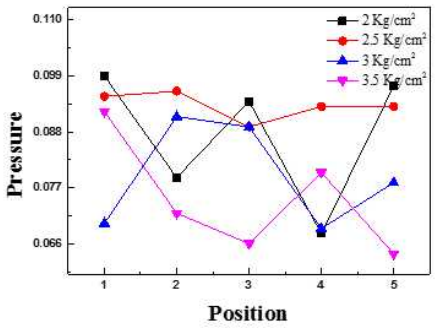

그림 5. Hole 편차
Fig. 5. Range of hole

표 7. S.G 대 에칭 속도
Table 7. S.G vs Etching speed

Specific gravity	Etching speed (m/min)
1.460	0.564
1.461	0.562
1.462	0.560
1.463	0.558
1.464	0.557
1.465	0.554
1.466	0.552
1.467	0.547
1.468	0.544
1.469	0.540

표 8. 비중에 따른 Sheet hole 편차
Table 8. Sheet hole Range value by S.G

Specific gravity	Average(mm)	Min (mm)	Max (mm)	Range (mm)
1.460	0.408	0.366	0.451	0.085
1.461	0.406	0.362	0.455	0.083
1.462	0.408	0.365	0.445	0.082
1.463	0.404	0.366	0.447	0.082
1.464	0.405	0.369	0.446	0.080
1.465	0.398	0.361	0.450	0.081
1.466	0.395	0.358	0.443	0.082
1.467	0.400	0.358	0.441	0.083
1.468	0.387	0.355	0.439	0.084
1.469	0.397	0.356	0.438	0.082
Average	0.40	0.36	0.45	0.08

표 8은 비중에 따른 sheet hole 편차에 대한 실

험으로 비중이 1.460 ~ 1.464 구간에서는 비중이 증가하면 Sheet 내 편차가 줄어드는 경향이 나타나고, 비중이 1.465 ~ 1.469 구간에서는 비중이 증가하여도 Sheet 내 편차가 증가하는 추세로 나타났다. 비중이 1.467일 때 홀 직경의 목표치인 0.40 mm에 접근하였으나 편차가 0.083 mm으로 크게 측정되었다.

4. 결 론

본 논문은 OLED에 사용되는 SUS MASK 가공시 에칭액인 $FeCl_3$를 자동 액 관리시스템을 구성하여 홀 직경을 0.4 mm로 목표치를 정하고 실험을 하였다.

본 실험결과. $FeCl_3$의 비중 값이 증가할수록 0.54[m/min]~0.49[m/min]까지 에칭속도가 빨라졌다. 그리고 비중이 1.43 ~ 1.47 구간에서는 비중이 증가할수록 편차(Range)가 줄어드는 현상이 나타났다.

압력 분사를 변화주었을 때 3.0 kg/cm^{2}에서 홀 직경은 평균 0.4mm, 편차는 평균 0.08 ㎜로 의 편차가 줄어들어 최적값 임을 알 수 있었다.

$FeCl_3$에 염산과 물을 혼합하여 비중을 1.430으로 설정하고 분사 압력을 3.0 kg/cm^{2}으로 고정시키고 첨가제를 1.2%의 조건을 적용하여 비중 변화에 따른 특성을 분석하였다. 1.460 ~ 1.464 구간에서는 비중이 증가하면 Sheet 내 편차가 줄어드는 경향이 나타났다.

위 실험을 바탕으로 SUS MASK 제조공정 중, 에칭가공공정에 적용시켜 보다 높은 정밀도로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] D. W. Kim, I. J. Park, G. H. Kim, B. M. Chae, S. W. Lee, H. L. Choi, H. C. Jung, "Oxidation Process for the Etching Solution Regeneration of Ferric Chloride Using Liquid and Solid Oxidizing Agent", Clean Technol, Vol. 23, No. 2, pp.158-162, 2017

[2] W. S. Choi, H. Y. Kim, J. W. Jeon, W. S. Chang, S. H. Cho, "Vibration-Assisted Femtosecond Laser Drilling with Controllable Taper Angles for AMOLED Fine Metal Mask Fabrication", Materials, Vol. 10, pp.212-220, 2017

[3] Y. Ito, M. Ueki, T. Kizaki, N.S ugita, M. Mitsuishi, "Precision cutting of glass by laser-assisted machining", Procedia Manuf, Vol. 7, pp.240-245, 2016

[4] M. R. Park, Y. W. Kim, J. H. Park, C. H. Park, "Separation of Iron and Nickel from Heavily Concentrated Aqueous", Clean Tech., Vol. 13, No. 4, pp.274~280, 2007

[5] M. M. Heravi, F. K. Behbahani, M. Daraie, H. A. Oskooie, "Fe(ClO4)3· 6H2O: A mild and efficient catalyst for one-pot three component synthesis of β-acetamido carbonyl compounds under solvent-free conditions", Molecular Diversity, Vol. 13, No 3, pp.375-378. 2009

[6] I. J. Park, B. Swanin, D. W. Kim, G. H. Kim, D. H. Han, H. C. Jung, "Preparation of mickel nanoparticles using nickel raffinate separated by solvent extraction from sepent FeCl3 etching solution arch", Metall. Mater, Vol. 64, No 2, pp. 531-534, 2019

[7] E. Najafi and F. K. Behbahani, "Three Component Synthesis of 3-Diarylmethy indoles Using Fe(ClO4)3/SiO2 as Catalystl", ussian Journal of Organic Chemistry, Vol. 53, No. 3, pp.454-458, 2017

[8] S. Tao, B. Wu, S. Lei, "A comparative study of the interaction between microhole sidewall and the plasma generated by nanosecond and femtosecond laser ablation of deep microholes", J. anuf. Process, Vol. 14, pp.233-242. 2012

[9] W. T. Kwon, L. S. Kwon, W. S. Lee, "The Development of New Cost-Effective Optimization Technology for OLED Market Entry", Journal of Distribution Science Vol. 17, No. 4, pp.51-57, 2019

[10] Y. W. Kim, M. R. Park, H. M. Lee, G. H. Park, C. H. Park, "Effect of Fe(ClO4)3 Addition in the Aqueous Ferric Chloride Etchant on the Increase of Shadow Mask Etch Rate", ,K

orean Chem. Eng. Res, Vol. 4 8, No. 2, pp. 157-163, 2010

저자약력

이 우 식(Woo-Sik Lee) **[정회원]**

- 1998년 2월 : 대구대학교 화학과 (이학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 화공생명공학과 교수

〈관심분야〉 신재생에너지