

# 구리 보호층을 이용한 전해에칭에서의 다층구조 제작

신홍식\*.#

\*한국교통대학교 기계자동차항공공학부

## Fabrication of Multilayered Structures in Electrochemical Etching using a Copper Protective Layer

Hong-Shik Shin\*.#

\*School of Mechanical, Automotive and Aeronautical Engineering, Korea National University of Transportation

(Received 27 December 2018; received in revised form 30 December 2018; accepted 5 January 2019)

### ABSTRACT

Electrochemical etching is a popular process to apply metal patterning in various industries. In this study, the electrochemical etching using a patterned copper layer was proposed to fabricate multilayered structures. The process consists of electrodeposition, laser patterning, and electrochemical etching, and a repetition of this process enables the production of multilayered structures. In the fabrication of a multilayered structure, an etch factor that reflects the etched depth and pattern size should be considered. Hence, the etch factor in the electrochemical etching process using the copper layer was calculated. After the repetition process of electrochemical etching using copper layers, the surface characteristics of the workpiece were analyzed by EDS analysis and surface profilometer. As a result, multilayered structures with various shapes were successfully fabricated via electrochemical etching using copper layers.

**Key Words :** Multilayered Structure(다층구조), Electrodeposition(전해도금), Electrochemical Etching(전해에칭), Protective Mask(보호 마스크)

### 1. 서 론

금속의 에칭공정은 기계, 전자, 전기, 항공 분야의 부품 제작 혹은 표면 처리 등에 적용할 수 있다. 에칭은 건식에칭과 습식에칭으로 분류된다. 건식에칭에 비해 습식에칭 방식은 장비의 구성이 간단하고 비교적 저렴한 공정으로 다종의 금속에 적용이 가능하기 때문에 다양한 산업 분야에서 널리

활용되어 왔다<sup>[1-3]</sup>.

습식에칭 방식은 화학에칭(chemical etching)과 전해에칭(electrochemical etching)으로 분류된다. 화학에칭은 공정 시 흠(fume) 발생과 유독한 폐액 처리 문제, 느린 에칭속도 등의 한계를 가지고 있다. 이에 반해 전해에칭은 외부 전압의 인가를 통해 금속의 빠른 에칭이 가능하다. 또한, 전해에칭은 중성염 등을 전해액으로 사용하기 때문에 유해한 흠이 발생하지 않으며 폐액 처리도 수월하게 할 수 있다. 이러한 이유들로 인해 전해에칭은 친환경 공정으로 알려져 있다<sup>[1]</sup>.

# Corresponding Author : shihns05@ut.ac.kr  
Tel: +82-43-841-5287, Fax: +82-43-841-5280

전해에칭을 이용해 금속 패터닝(patterning)을 하려면 포토 마스크나 금속 마스크 제작이 필수이다. 포토 마스크(photo-mask)를 이용하여 다층구조(multilayered structures)를 제작하는 경우 복잡한 포토 마스크 제작 공정을 반복해야 하기 때문에 매우 비효율적이며 패턴이 바뀔 때마다 마스크도 새로 제작되어야 한다. 전해에칭 공정의 폭넓은 활용을 위해서는 효율적으로 다층구조의 제작이 가능해야 한다.

다층구조 제작을 위한 새로운 전해에칭 공정들이 연구되어 왔다. Landolt et al 등은 티타늄 표면에 산화막을 이용한 전해에칭 공정을 통해 다층구조를 제작하고 에치팩터 특성을 분석한 연구 결과를 발표하였다<sup>4)</sup>. 그러나, 이 방법은 두꺼운 산화막을 형성할 수 있는 티타늄 등의 특정 금속에만 적용할 수 있다는 한계를 가지고 있다. Shin et al 등은 스테인리스강의 표면에 산화된 재용고층을 형성시킨 후 전해에칭 하는 공정을 통해 다층구조를 제작할 수 있다는 연구 결과를 보고 하였다<sup>5)</sup>. 하지만, 이 공정 또한 크롬, 스테인리스강 등과 같은 특정 금속에만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 구리도금층을 보호 마스크로 사용한 전해에칭 공정이 개발되었다<sup>6)</sup>. 이 방법은 전해액을 알맞게 선정할 경우 금속 종류에 제한을 받지 않고 적용할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 전해도금, 레이저 패터닝, 전해에칭의 비교적 간단한 순서로 이루어지기 때문에 공정 반복 시 효율성이 높아 다층구조 제작 및 사이드 에치에 대한 깊이 비 조절도 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 전해도금, 도금층의 레이저 패터닝, 전해에칭으로 이루어지는 일련의 공정에서 에치팩터(etch factor) 특성을 확인하고, 구리층을 이용한 전해에칭의 반복 공정을 통해 금속 표면에 다층구조를 제작한다.

## 2. 실험장치 및 방법

전해도금층의 패터닝을 위해 펄스 레이저빔(pulsed laser beam) 장치를 사용하였다. 레이저빔 장치의 사양은 Table 1과 같다. Fig. 1과 같이, 레이저빔의 포커싱을 위해 레이저빔 스캔헤드 장치부를 Z

축 이송장치에 부착하였다. 레이저빔은 갈바노미터 스캐닝 시스템(galvanometer scanning system)에 의해 원하는 위치로 이송된다.

전해도금 및 전해에칭을 수행하기 위한 장치는 Fig. 1과 같으며 시험 조건은 Table 2와 같다. 전해도금 공정에서는 구리층 도금을 위해 0.5 M 황산구리와 0.5 M 황산 용액을 혼합한 도금액을 사용하였다. (-) 전극에는 공작물, (+)전극에는 대전극을 연결한 후 두 전극 사이에 직류전원을 인가하여 전해도금을 수행하였다. 한편, 전해에칭 공정에서는 (-) 전극을 대전극에 (+) 전극을 공작물에 연결 하였으며, 전해액은 2 M 염화나트륨 수용액을 사용하였다. 두 전극이 침지된 상태에서 직류전원을 인가하여 전해에칭을 수행하였다. 전해에칭 시 공작물은 스테인리스강(stainless steel), 대전극은 구리판(copper)을 사용하였고, 두 전극 간 거리는 50 mm로 고정하였다.

Table 1 Fiber laser system specification

Parameter	Value
Mode of operation	Pulsed
Source	Ytterbium fiber
Wavelength	1064 nm
Laser power	< 20 W
Repetition frequency	< 80 kHz
Pulse duration	100 ns

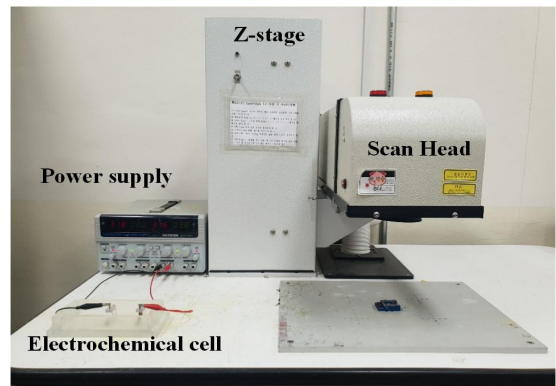


Fig. 1 Experimental set-up

**Table 2 Experimental conditions**

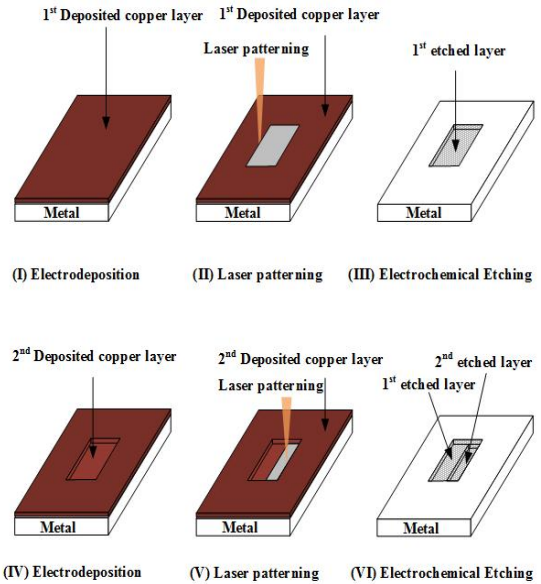
Electrodeposition	Value
Applied voltage	2 V
Electrodeposition time	60 sec
Electrochemical etching	Value
Applied voltage	10 V
Etching time	9 sec

### 3. 구리 보호층을 이용한 전해에칭의 반복 공정

구리층을 이용한 전해에칭을 통해 금속의 표면에 다층구조를 제작하기 위해서는 전해도금, 레이저 패터닝, 전해에칭의 3단계로 이루어진 공정을 반복하여 수행해야 한다.

Fig. 2는 다층구조 제작을 위한 반복 공정 순서를 보여준다. 첫 번째 단계에서는 전해도금을 통해 첫 번째 구리층(1<sup>st</sup> copper layer)을 형성시킨 후 에칭하고자 하는 영역의 구리층만을 레이저빔으로 제거한다. 전해에칭을 수행하면 레이저빔에 의해 구리층이 제거된 영역에서 공작물 표면의 용해가 진행되는 반면 구리층으로 도포된 영역에서는 공작물 표면이 보호된다. 구리층을 이용한 전해에칭 공정이 완료되면 공작물의 표면에 원하는 패턴을 형성할 수 있다. 두 번째 단계에서는 다시 전해도금 공정을 수행하여 두 번째 구리층(2<sup>nd</sup> copper layer)을 공작물 표면 전체에 형성시킨다. 레이저 패터닝을 통해 첫 번째 에칭된 표면의 일부 영역에서만 구리층을 제거한다. 마지막으로 전해에칭을 수행하면 첫 번째 에칭 표면과는 깊이가 다른 두 번째 에칭 표면을 얻을 수 있다.

구리 보호층을 이용한 전해에칭의 반복 공정 시 제거하는 구리층 영역을 달리하며 에칭을 수행하면 다층구조의 제작이 가능하다. 또한, 공정을 반복할 때 구리층 제거 영역을 동일하게 하면 사이드 에칭에 대한 깊이 비의 향상도 기대할 수 있다.



**Fig. 2 Procedures for fabrication of multilayered structures**

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 에치팩터

다층구조의 제작을 위해서는 전해도금, 레이저 패터닝, 전해에칭으로 이루어지는 공정의 에칭 특성을 알아야 공정의 정밀도를 높일 수 있다.

일반적으로 금속은 등방성 에칭(isotropic etching)이기 때문에 사이드 에칭에 대한 깊이의 비를 나타내는 에치팩터는 에칭 공정에서 중요한 자이다. Fig. 3은 금속이 등방성 에칭으로 가공되었을 때의 형상을 보여준다.  $W_1$ 은 에칭 이후 가공된 공작물 표면의 폭을 나타낸다.  $W_2$ 는 에칭 이전 오픈된 보호층의 폭을 나타낸다. 사이드 에칭(side etch)는 식(1)과 같이 정의한다.

$$Side\ etch = \frac{W_1 - W_2}{2} \quad (1)$$

에칭된 깊이를  $D$ 라 할 때 에치팩터는 식(2)와 같이 정의한다.

$$Etch\ factor = \frac{2D}{W_1 - W_2} \quad (2)$$

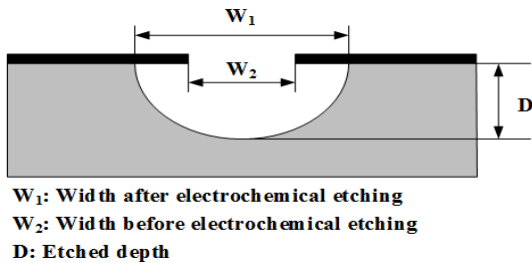
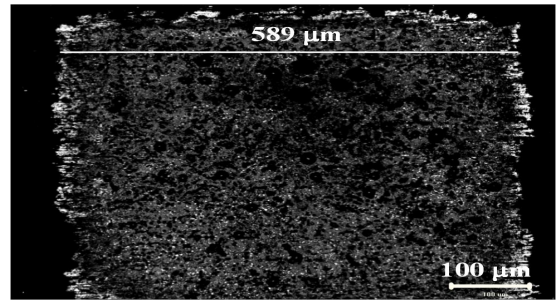


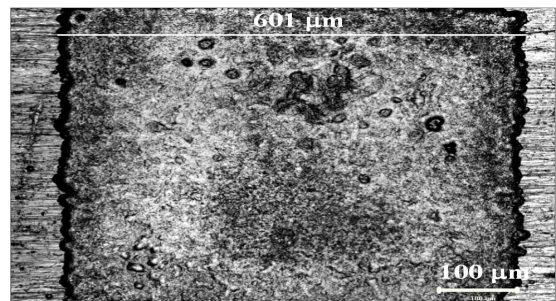
Fig. 3 Etch factor in electrochemical etching

금속의 등방성에칭에서는 에치팩터에 의해 가결정될 수 있는 패턴의 치수와 공작물 두께가 결정되기 때문에 에치팩터 계산이 중요하다. 그러므로, 구리보호층을 이용한 전해에칭 반복 공정에서도 원하는 정밀도의 다층구조 제작하려면 에치팩터를 고려해야 한다. 구리보호층을 이용한 전해에칭 공정에서 에치팩터를 계산하기 위해 전해에칭 전과 후의 폭, 전해에칭 후 에칭된 깊이를 측정하였다. Fig. 4(a)는 레이저 패턴링 이후의 구리 도금층을 보여준다. 어두운 영역은 구리층이고 사각형 형태의 상대적으로 밝은 영역은 구리층이 제거된 공작물의 표면을 나타낸다. 레이저 패턴링에 의해 제거된 사각형 영역의 가로 길이 폭은 589 μm 이다. Fig. 4(b)는 Fig. 4(a)에서 얻은 시편을 전해에칭 한 후 얻은 결과이다. 에칭된 사각형 영역의 가로 길이는 약 601 μm 이다. 이때, 에칭된 깊이는 4.5 μm 내외로 측정되었다. Fig. 4의 결과로부터 구리층을 이용한 전해에칭에서의 에치팩터는 약 0.75 내외의 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 이는 구리보호층을 이용한 전해에칭 반복 공정에서도 원하는 정밀도의 다층구조 제작하려면 에치팩터 0.75를 고려해야 한다는 것을 의미한다.

구리층을 이용한 전해에칭 공정에서는 에치팩터가 1 이하이다. 이는 전해에칭을 진행하게 되면 일정 시간 후 수 십 μm 두께를 갖는 구리보호층이 수소 기포 등에 의해 제거되기 때문이다. 즉, 구리보호층이 제거되면 공작물 표면을 보호할 수 없기 때문에 전해에칭 공정을 지속할 수 없다. 결국, 전해에칭 가능 시간은 구리층이 제거되기 전까지만 가능하므로 금속 표면에 에칭 가능 깊이는 제한된다.



(a) Patterned copper layer



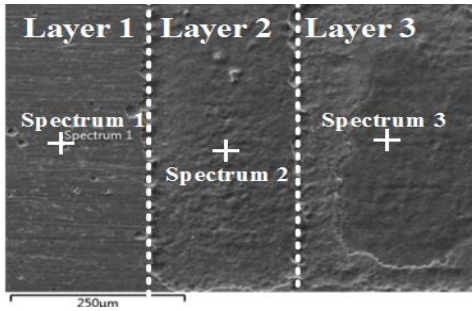
(b) Etched pattern

Fig. 4 Width of square pattern before and after electrochemical etching

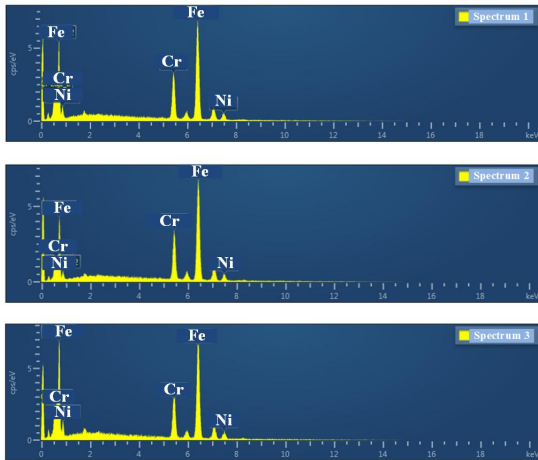
## 4.2 다층구조 제작

Fig. 2에서 보이는 바와 같이, 전해도금, 레이저 패턴링, 전해에칭의 순서로 구성되는 공정을 2회 반복하여 Fig. 5(a)와 같은 다층구조를 제작하였다. Layer 1은 구리층으로 보호되어 스테인리스강 표면이 에칭되지 않은 영역이다. Layer 2는 에칭이 1회만 수행된 영역이며, Layer 3은 에칭 1회 수행 후 다시 한 번 에칭이 반복된 영역이다.

공정 수행 이후 에칭된 표면에 구리층이 잘 제거되었는지 확인하기 위해 EDS(Energy-dispersive X-ray spectroscopy) 분석을 수행하였다. Fig. 5(b)의 Spectrum 1, 2, 3은 각각 Layer 1, Layer 2, Layer 3 영역에서의 EDS 분석 결과이다. EDS 분석 결과 공작물로 사용한 스테인리스강 성분 원소인 Fe, Cr, Ni 등이 검출되었으며, 구리는 검출되지 않았다. 이는 전해도금으로 표면에 있었던 구리층이 반복 공정 이후 모두 제거되었음을 의미한다.



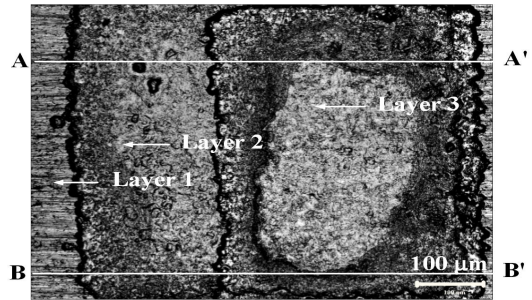
(a) SEM image



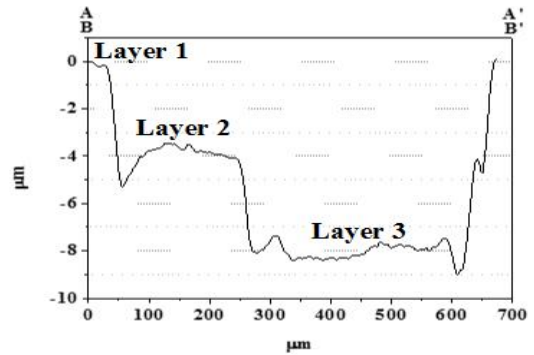
(b) Spectrum 1, 2, 3

**Fig. 5 EDS analysis of etched surface after repeated electrochemical etching process using patterned copper layer**

반복 공정 수행 이후 Layer 1, Layer 2, Layer 3 은 각각 에칭된 횟수가 다르기 때문에 에칭 깊이도 다르다. 이를 확인하기 위해 Fig. 6(a)에서 보이는 바와 같이 사각형 패턴 다층구조를 직선 AA'와 BB' 사이 구간 영역을 설정하여 표면 프로파일 평균치를 측정하였다. 표면 프로파일은 비접촉 광학식 컨포컬 레이저 장비(NS-3500, 나노스코프시스템즈®)를 사용하여 측정하였다. 표면 프로파일 측정 결과 Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 Layer 1과 Layer 2 사이의 단차는 약 4.2 µm로 측정되었고, Layer 1과 Layer 3의 단차는 약 8.3 µm로 측정되었다. 이는 에칭이 수행될 때마다 4 µm 내외로 깊이가 가공이 이루어진다는 것을 의미한다.



(a) Optical image



(b) Surface profile

**Fig. 6 Surface profile of multilayered structures**

Fig. 7(a)는 에칭되지 않은 영역(Layer A), 사각형(Layer B 영역)과 원형(Layer C 영역) 패턴 영역으로 구성된 다층구조이다. 전해도금 후 사각형 패턴으로 공작물 표면에서 구리층만을 제거하고 전해에칭을 수행하였다. 이후 전체 표면에 다시 구리층을 도금하고 사각형보다 작은 크기의 원형 패턴으로 구리층을 제거하고 전해에칭을 수행하였다. Fig. 7(b)는 Fig. 7(a)의 직선 CC'을 따라 측정된 표면프로일 측정 결과이다. 측정 결과로부터 1회의 에칭이 진행될 때마다 4 µm 내외로 깊이가 가공이 이루어진다는 것을 확인할 수 있다.

구리보호층을 이용한 전해에칭의 반복 공정을 통해 스테인리스강 표면에 다층구조 제작이 가능함을 확인하였다. 전해도금과 전해에칭 공정은 대부분의 금속에 적용이 가능하다. 그러므로 구리보호층을 이용한 전해에칭 반복 공정은 다종의 금속 표면의 다층구조 제작에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

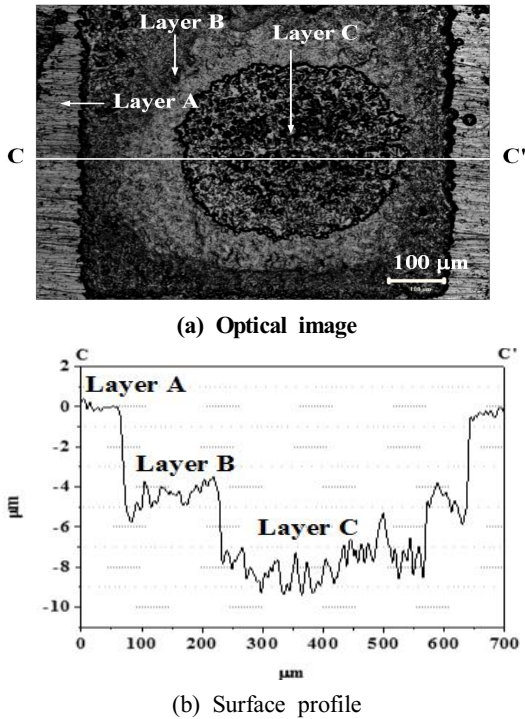


Fig. 7 Multilayered structures in the form of a circle and a square

## 5. 결론

보호 마스크를 이용한 전해에칭 공정은 범용적으로 다양한 산업 분야에서 이용되어 왔으나 구리도금층을 보호 마스크로 활용하여 금속의 표면에 다층구조를 제작하는 공정은 이전에 제시되지 않았던 새로운 방법이다.

본 연구에서는 구리층을 이용한 전해에칭 공정에서의 에치팩터 특성을 확인하였다. 또한, 구리보호층을 이용한 전해에칭을 2회 반복 한 후 성분 분석을 통해 공작물 표면에서 구리층 제거가 원활히 이루어졌음을 확인하였다. 표면 프로파일 측정을 통해 구리보호층을 이용한 전해에칭 공정이 1회 수행될 때마다 4 $\mu$ m 내외의 깊이를 갖는 층(layer) 제작이 가능함을 확인 하였다.

구리 전해도금과 전해에칭은 여러 종류의 금속에 적용이 가능하기 때문에 구리보호층을 이용한 전해에칭 반복 공정은 다양한 금속 표면의 다층구

조 제작에 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 구리층을 이용한 전해에칭 반복 공정에서 에칭표면의 표면거칠기 및 형상정밀도 향상을 위한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

## 후 기

“이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2017R1C1B1005444).”

## REFERENCES

1. Liu, Y., Cai, H. and Li, H., "Fabrication of Micro Spherical Electrode by One Pulse EDM and Their Application in Electrochemical Micromachining," Journal of Manufacturing Processes, Vol. 17, No. 1, pp. 162-170, 2015.
2. Song, W. J. and Lee, E. S., "A Study on the Optimal Conditions of Hole Machining of Microplate by Application of Response Surface Methodology in Wire-pulse Electrochemical Machining," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 141-149, 2017.
3. Lee, S. H. and Kwak, J. S., "Application and Parameter Optimization of EP-MAP Hybrid Machining for Micro Pattern Deburring," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 2, pp. 113-119, 2013.
4. Chauvy, P. F., Hoffmann, M. and Landolt, D., "Application of Laser Lithography on Oxide Film to Titanium Micromachining," Appl. Surf. Sci., Vol. 208-209, pp. 165-170, 2003.
5. Shin, H. S., Park, M. S. and Chu, C. N., "Electrochemical Etching using Laser Masking for Multilayered Structures on Stainless Steel," CIRP Ann-Manuf. Technol., Vol. 59, No. 1, pp. 585-588, 2010.
6. Shin, H. S., "Laser Patterning of Deposited Layer for Protective Mask in Electrochemical Etching," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 27, No. 1, pp. 57-62, 2018.