https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.1.57

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

전해에칭 보호 마스크로 활용하기 위한 도금층의 레이저 패터닝

신홍식[a*]

Laser Patterning of Deposited Layer for Protective Mask in Electrochemical Etching

Hong Shik Shin[a*]

[a] *School of Mechanical, Automotive and Aeronautical Engineering, Korea National University of Transportation, 50, Daehak-ro, Geomdan-ri, Daesowon-myeon, Chungju, Chungbuk-do, 27469, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 1 December 2017
Revised 12 December 2017
Accepted 18 December 2017

Keywords:
Laser patterning
Deposited layer
Protective mask
Electrochemical etching
Copper layer

ABSTRACT

A through-mask electrochemical etching process involves a selective metal removal process from unprotected areas of a patterned workpiece. A protective mask such as a photo-mask is used in through-mask electrochemical etching. The deposited layer with micro patterns can be fabricated by laser beam irradiation. The deposited layer with micro patterns can act as a protective mask during electrochemical etching. The characteristics of deposited layer with micro patterns are investigated according to the electrodeposition and laser beam conditions. The experimental results were observed by SEM (scanning electron microscope), EDS (energy dispersive spectrometry), and surface profile analysis. Consequently, selective electrochemical etching using the deposited layer was successfully achieved.

1. 서 론

전해에칭(electrochemical etching) 공정은 금속의 표면에 선택적인 전해 용출(electrochemical dissolution) 현상을 이용하여 원하는 패턴의 모양을 가공할 수 있는 공정으로 전자, 기계, 항공 산업용 부품 제작에 많이 활용되어 왔다[1-4]. 전해에칭을 이용한 금속 표면 패터닝(patterning)에서는 원하는 영역의 금속 표면만을 전해 용출 시켜야 하기 때문에 전해 용출이 일어나지 않아야 하는 금속의 표면은 보호되어야 한다.

포토 마스크(photo-mask)를 이용한 전해에칭 공정이 금속 표면 패터닝에 일반적으로 사용되어 왔다[1-4]. 그러나 포토 마스크를 보호 마스크로 사용하는 경우 필름 마스크 제작, 노광, 현상 등의 복잡한 고비용 공정들이 수반된다는 점과 패턴의 변화에 따라 감광막을 새로 제작해야 한다는 단점이 있다.

포토 마스크의 한계를 극복하기 위한 다양한 연구가 보고되고 있다. Landolt[5] 등은 티타늄의 표면에 패턴을 갖는 산화막(oxide layer)을 보호 마스크로 이용한 전해에칭에 관한 연구를 수행 하였으나 이 기술은 티타늄 혹은 알루미늄과 같은 산화막을 형성할 수 있는 재료에만 적용할 수 있다는 제약이 있다. Shin[6,7] 등은 레이저빔을 이용하여 금속 소재의 표면에 패턴을 갖는 재응고층(recast layer)을 형성한 후 재응고층을 보호 마스크로 이용해 전해에칭을 수행 하였으나 스테인리스강과 같이 레이저빔에 의해 산화된 재응고층을 형성시킬 수 있는 재료에만 적용된 연구만이 보고되었다.

최근 전해에칭 시 포토 마스크를 제작하지 않고도 다양한 재료에 보호 마스크의 역할을 할 수 있는 도금 패터닝에 관한 연구가 보고되었다. Shin[8] 등은 금속 표면에 형성된 전해도금층(electro-

* Corresponding author. Tel.: +82-43-841-5287
Fax: +82-43-841-5280
E-mail address: shinhs05@ut.ac.kr (Hong Shik Shin).

deposited layer)을 레이저 패터닝(laser patterning) 하고, 이를 보호 마스크로 활용한 전해에칭 공정의 가능성을 제시하였다.

본 논문에서는 전해에칭용 보호 마스크로 활용 가능한 도금층의 레이저 패터닝에 관한 연구를 수행한다. 금속의 표면에 전해도금층을 형성시키고 레이저빔 조건에 따른 전해도금층 특성 분석을 수행하였으며, 전해도금층이 전해에칭 시 보호 마스크로 활용될 수 있음을 확인하였다.

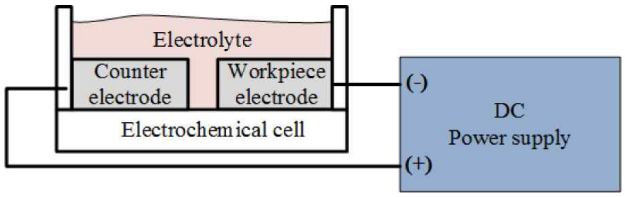
2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

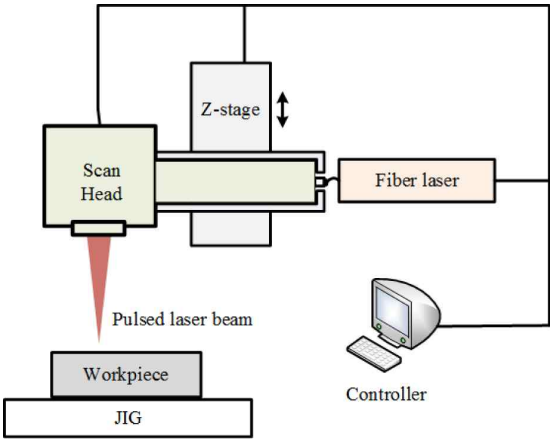
Fig. 1에서 보여지는 바와 같이 도금층 레이저 패터닝을 수행하기 위한 장비는 전해도금(electrodeposition) 시스템과 레이저 패터닝(laser patterning) 시스템으로 구성된다.

전해도금 시스템은 공작물과 대전극으로 구성된다. 공작물은 AISI 304 스테인리스강(stainless steel)을 사용하였으며 대전극으로는 구리를 사용하였다. 전해도금을 위한 전용 수조가 제작되었으며, 전해도금 공정에서는 0.5 M 황산과 0.5 M 황산구리 혼합 수용액을 도금액으로 사용하여 직류 전압을 인가하였다. 인가 전압 및 도금 시간조절을 통해 구리층을 스테인리스강 표면 위에 도금하였다.

레이저 패터닝 시스템으로는 펄스 온-타임 100 ns, 파장 1,064 nm, 평균 출력 2 W~20 W의 범위를 갖는 이터븀 펄스 레이저



(a) Electrodeposition system



(b) Laser patterning system

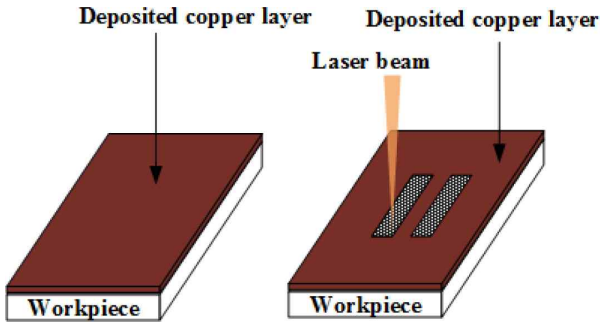
Fig. 1 Experimental set-up for laser patterning of deposited layer

(ytterbium pulsed laser)가 사용되었다. 레이저빔의 포커싱(focucing)은 Z축 이송장치를 이용하여 수행하였으며 빔 스팟(beam spot)의 크기는 약 50 μm 내외이다. 레이저빔의 이송은 갈바노미터 스캐너(galvanometer scanner)에 의해 제어되었으며, 이송속도 변화 및 반복 횟수의 조절을 통해 구리 도금층을 패터닝하였다.

2.2 전해도금층 형성과 레이저빔 패터닝 공정

전해 도금층(deposited layer)의 레이저 패터닝을 위해 Fig. 2(a)에서와 같이 스테인리스강 표면 위에 구리층(copper layer)을 도금한다. 구리층 도금 이후 레이저빔을 조사(irradiation)하여 원하는 영역의 구리층만을 제거하는 레이저 패터닝을 Fig. 2(b)와 같이 수행한다.

Fig. 3은 레이저 패터닝에서 구리층 제거를 위한 레이저빔의 이송 방법을 보여주는 그림이다. 레이저빔은 중첩시키며 이송하였다. 레이저 패터닝 시 선 간격(line spacing)은 윗 줄과 아랫 줄에 해당되는 스팟(spot)들의 중심 사이 간격으로 정의하였다. 수 μm ~ 수십 μm두께의 구리층 제거에 사용된 레이저빔 조건은 Table 1과 같다.



(a) Electrodeposition (b) Laser patterning

Fig. 2 Procedures for laser patterning of deposited layer

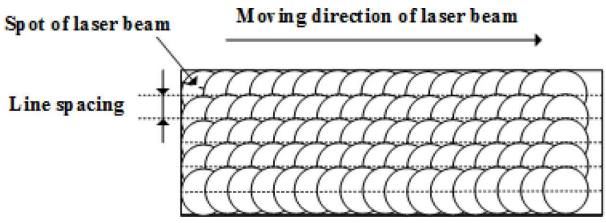


Fig. 3 Concept of laser patterning

Table 1 Laser patterning conditions

Average power (W)	4
Pulse repetition rate (kHz)	80
Moving speed of spot (mm/s)	600
Line spacing (μm)	20

Table 1의 조건을 바탕으로 레이저 패터닝 반복 횟수(repeat count of laser patterning)에 따라 제거되는 구리층의 특성에 대해 조사하였다. 또한, 에칭용 보호 마스크로 레이저 패터닝 한 구리층의 활용 가능성을 확인하였다.

3. 전해도금 특성

레이저 패터닝 한 구리 도금층이 전해에칭 시 보호 마스크로 활용되기 위해서는 전해에칭이 되는 동안 구리 도금층 아래에 있는 스테인리스강 표면을 일정 시간 동안 보호해야 한다. 이를 위해서는 전해도금층이 균일한 두께로 스테인리스강 표면에 도금되어야 하며 레이저 패터닝에 의해 구리층이 균일하게 제거되어야 한다.

Fig. 4는 전해도금 공정에서 인가 전압과 도금 시간에 따른 구리 도금층의 두께 변화를 보여주는 그래프이다. 직류 전압 1 V, 3 V, 5 V에 대하여 각각 도금 시간을 변화시키며 도금된 구리층의 두께를 측정하였다. 전압이 일정한 경우 도금시간이 60 초에서부터 180 초까지 증가함에 따라서 구리 도금층의 두께가 증가하였다. 이는 전해도금 시간의 증가에 따라 전기화학 반응에 의한 구리 이온의 환원량이 증가하게 되므로 발생되는 현상이다. 또한, 도금시간이 일정한 경우 인가 전압이 증가함에 따라 도금된 구리층의 두께가 증가하였다. 이러한 결과는 인가 전압이 증가함에 따라 전류밀도가 증가하게 되어 환원전극인 공작물의 표면에서 환원 반응이 더욱 활발하게 일어나기 때문이다.

전해도금 공정에서 도금된 구리층의 두께를 일정하게 유지하는 것은 레이저 패터닝에 의한 구리층의 균일한 제거 및 전해에칭 시 보호 마스크로써의 역할을 위해 매우 중요하다. Fig. 5는 도금된 구리층의 표면 프로파일을 보여준다. 3 V, 60 초의 전해도금 조건에서는 도금된 구리층 표면의 최고점과 최저점에서의 차이가 3.5 μm 범위 이내였으나 3 V, 240 초의 전해도금 조건에서는 50 μm의 범위로 그 차이가 큰 것을 확인할 수 있다.

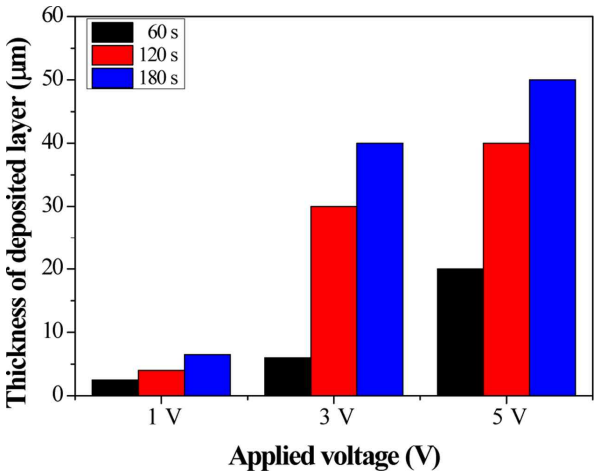


Fig. 4 Thickness of copper layer according to applied voltage and electrodeposition time in electrodeposition

이와 같은 결과들은 전해도금 시간이 증가할수록 구리 도금층의 두께는 증가하나 표면 프로파일은 매우 불균일해진다 것을 의미한다. 표면이 불균일한 경우 레이저 패터닝 시 동일한 레이저빔 조건에서도 구리층 제거가 불균일하게 될 수 있다. 또한, 불균일하게 레이저 패터닝 된 구리층은 전해에칭 시 불균일한 에칭이 일어나는 요인이 된다. 보호 마스크로 구리층을 활용하기 위해서는 단순히 구리층의 두께만을 증가시키는 것이 아니라 균일한 두께의 구리층을 형성시켜 레이저 패터닝 시 균일하게 제거되도록 할 필요가 있다.

4. 레이저 패터닝

레이저 패터닝 이후 구리층의 제거 특성을 확인하기 위해 0.5 mm × 0.5 mm 크기의 정사각형 영역에 Fig. 3과 같은 방식으로 구리층 표면에 레이저빔을 조사하였으며, 레이저 패터닝 조건은 Table 1과 같다.

전해도금한 구리층을 레이저 패터닝에 의해 제거한 이후 구리층 제거 여부를 확인하기 위해 Fig. 6과 같이 EDS(energy dispersive spectrometry) 분석을 수행하였다. 동일한 인가 전압인 1 V에서 도금 시간이 60 초인 경우와 180 초인 경우에 대해 Fig. 6(a), Fig. 6(c)와 같이 구리 도금층을 형성시켰으며 Table 1의 레이저빔 조건으로 레이저 패터닝을 5회 반복하였다. Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)에서 보이는 구리층의 EDS 분석 결과이다. 레이저 패터닝 이후 붉은색으로 표시된 Cu 성분 영역들을 확인한 결과 0.5 mm × 0.5 mm 크기 정사각형 모양의 레이저 패터닝 영역에서 대부분의 구리층이 제거되고 레이저 패터닝 이외의 영역에서는 구리층이 남아있음을 확인할 수 있다. Fig. 6(d)는 Fig. 6(c)에서 보이는 구리층의 EDS 분석 결과이다. 0.5 mm × 0.5 mm 크기의 정사각형 모양의 레이저

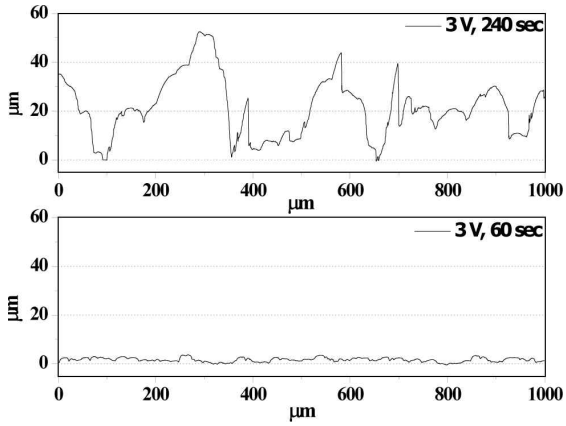
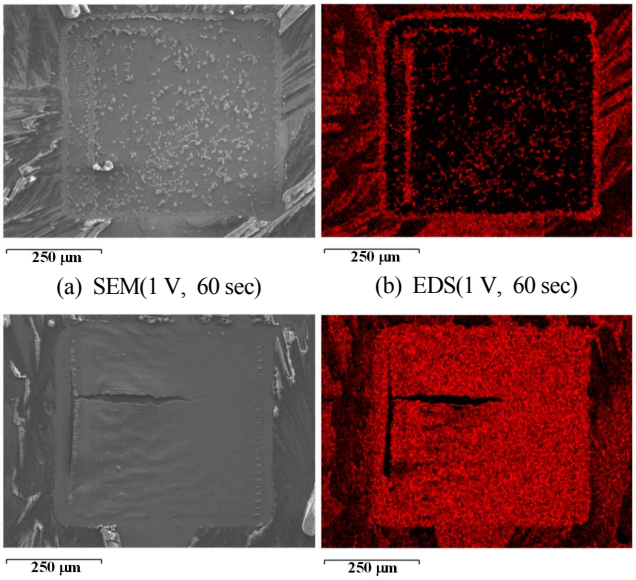


Fig. 5 Surface profile of deposited copper layer



(a) SEM(1 V, 60 sec) (b) EDS(1 V, 60 sec)

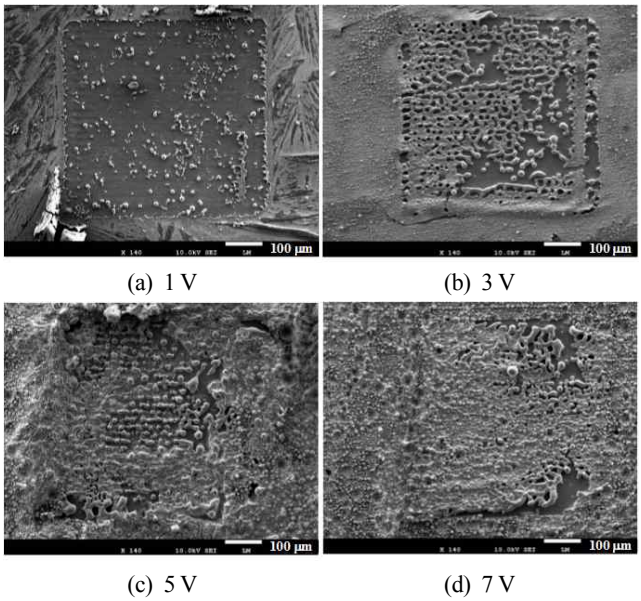
(c) SEM(1 V, 180 sec) (d) EDS(1 V, 180 sec)

Fig. 6 SEM and EDS analysis of deposited layer after laser patterning (repeat count of laser patterning: 5 times)

패터닝 영역에서 Cu 원소 성분을 나타내는 붉은색이 대부분의 표면에 표시되어 있으므로, 구리층이 레이저 패터닝 이후에도 거의 제거되지 않았음을 확인할 수 있다. 구리층이 원하는 영역에서 제거되지 않으면 전해에칭 시 보호마스크로 사용할 수 없다. 그러므로 전해도금 조건에 따라 형성된 구리층의 레이저 패터닝 특성을 분석할 필요가 있다.

구리 도금층의 표면 프로파일 특성 및 두께는 전해도금 조건인 인가 전압과 도금 시간 등에 의해 결정된다. 전해도금 공정에서 인가 전압에 따른 구리 도금층의 레이저 패터닝 특성을 확인하기 위한 시험을 수행하였다. Fig. 7은 도금 시간을 60초로 고정하고, 인가전압을 각각 1 V, 3 V, 5 V, 7 V로 하여 구리 도금층을 형성시킨 후 레이저 패터닝을 5회 수행한 결과이다. 1 V와 3 V의 전압 조건에서 형성된 구리층은 비교적 균일하게 형성되고 레이저 패터닝 이후 대부분 제거되거나 스테인리스강 표면과 이격되어 있으나, 5 V 이상에서는 구리층이 불균일하게 형성되고 레이저 패터닝 후 일부 구리층만이 제거되었다. 이러한 현상은 Fig. 4에서와 같이 도금 시간 60초인 경우 3 V 이하에서는 구리 도금층의 두께가 10 μm 이하지만 5 V 이상에서는 구리 도금층이 20 μm 이상의 불균일한 두께로 형성되어 레이저 패터닝에 의해 구리층 대부분이 제거되지 않거나 불균일하게 제거되기 때문에 발생한다. 그러므로 3 V이 이내 조건으로 도금층을 형성해야 균일한 도금층을 얻을 수 있으며 레이저 패터닝도 원활하게 수행될 수 있다.

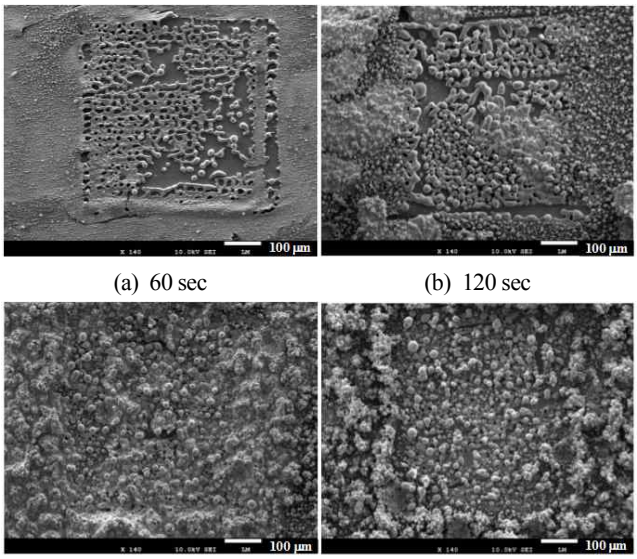
전해도금 시간에 따른 레이저 패터닝 특성을 확인하기 위한 시험을 수행하였다. Fig. 8은 3 V 인가전압을 유지하고 전해도금



(a) 1 V (b) 3 V

(c) 5 V (d) 7 V

Fig. 7 Laser patterning according to applied voltage (electrodeposition time: 60 sec, repeat count of laser patterning: 5 times)

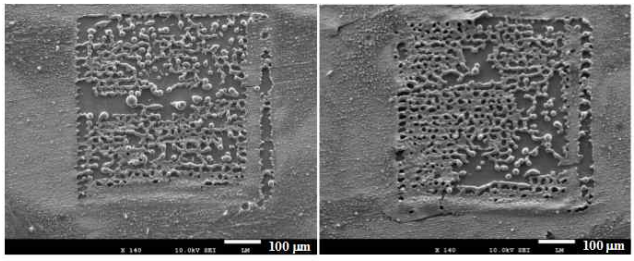


(a) 60 sec (b) 120 sec

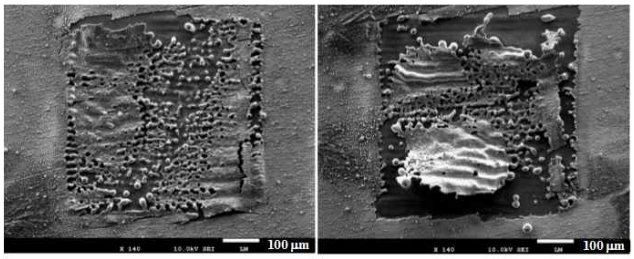
(c) 180 sec (d) 240 sec

Fig. 8 Laser patterning according to electrodeposition time (applied voltage: 3 V, repeat count of laser patterning: 5 times)

시간을 각각 60초, 120초, 180초, 240초로 하여 구리도금층을 형성시킨 후 레이저 패터닝을 5 회 수행한 결과이다. Fig. 8(a)와 Fig. 5로부터 레이저 패터닝 되지 않은 구리층의 표면은 비교적 균일하게 형성되어 있음을 확인할 수 있고, Fig. 8(d)와 Fig. 5로부터 레이저 패터닝 되지 않은 구리층 표면은 매우 거칠게 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 60초에서 형성된 구리층은 레이저 패터닝에 의해 구리층이 대부분 제거되거나 스테인리스강 표면으로부터 이격되어 있으나 180초 이상의 조건에서 형성된 구리 도



(a) once (b) 5 times



(c) 9 times (d) 15 times

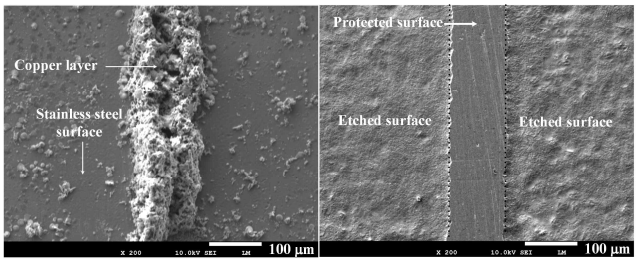
Fig. 9 Laser patterning according to repeat count of laser irradiation (electrodeposition conditions: 3 V, 60 sec)

금층은 레이저 패터닝 이후 거의 제거되지 않고 표면도 매우 불균일한 것을 볼 수 있다. 이는 180초 이후부터 형성된 도금층의 두께가 40 μm 이상 두꺼워지고 불균일하게 형성되어 레이저 패터닝 5회 수행에 의해 구리층이 대부분 제거되지 않거나 레이저 패터닝에 의해 제거된 부분도 매우 불균일한 표면임을 Fig. 4와 Fig. 5으로부터 확인할 수 있다. 그러므로 3 V의 전압 조건에서는 구리층이 균일하게 형성되도록 도금시간을 120초 이내로 선정할 필요가 있다.

Fig. 9는 레이저 패터닝 수행 횟수에 대한 구리층 제거 특성을 보여준다. 레이저 패터닝 반복 횟수 1회~5회까지는 비교적 레이저 패터닝 후 구리층이 제거되거나 스테인리스강 표면으로부터 이격되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 상태의 구리층은 전해에칭 시 쉽게 제거되고 레이저 패터닝 시 레이저빔이 조사되지 않은 부분은 스테인리스강 표면을 보호하게 되므로 원하는 영역의 표면은 보호하고 원하지 않는 영역에서만 에칭이 일어나는 역할을 하는 보호마스크로 활용 가능성이 높다고 볼 수 있다. 그러나 레이저 패터닝 반복 횟수가 9회인 경우와 15회인 경우는 과도한 열변형에 의해 레이저 패터닝 경계 부분이 불균일하며 스테인리스강 표면이 레이저빔에 의해 가공된 흔적이 일부 남아 있어 전해에칭 시 보호 마스크로는 부적합함을 확인 할 수 있다.

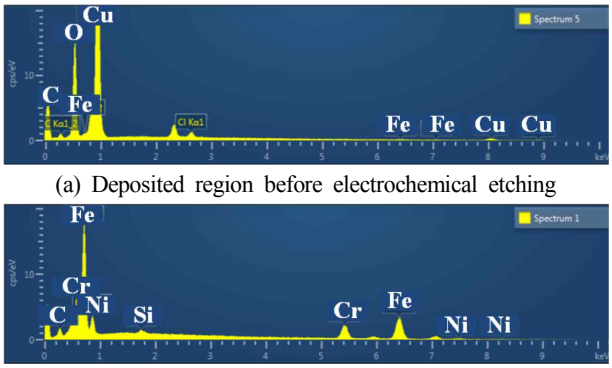
5. 전해도금층을 이용한 전해에칭

레이저 패터닝 된 구리 도금층이 전해에칭 시 보호마스크로 활용될 수 있는지 확인하기 위해 최근 Shin[8]은 레이저 패터닝한 구리층을 보호마스크로 활용한 전해에칭 가능성을 보고하였다. Fig. 10



(a) Laser patterning (b) Electrochemical etching

Fig. 10 Electrochemical etching using patterned copper mask[8]



(a) Deposited region before electrochemical etching

(b) Etched region of center line after electrochemical etching

Fig. 11 EDS analysis of electrochemical etching using deposited patterning mask[8]

은 Shin[8]이 보고한 연구 결과로 2.5 V, 60 초의 조건에서 구리층을 스테인리스강 표면에 도금시키고 레이저 패터닝을 수행하여 Fig. 10(a)와 같이 원하지 않은 영역을 제거하고 중앙부의 구리층만을 남겨 스테인리스강의 보호층으로 사용하였다. 레이저 패터닝 후 2 M NaCl 수용액, 15 V, 10 초의 조건에서 전해에칭을 수행하였다. 전해에칭 후 Fig. 10(b)와 같이 중앙부의 스테인리스강 표면은 보호되어 에칭되지 않고 구리층이 제거된 영역만 에칭된 것을 확인 할 수 있다. 또한, Shin[8]은 Fig. 10(a)의 중앙부 구리층 영역과 Fig. 10(b)의 중앙부 스테인리스강 표면의 EDS 분석을 Fig. 11과 같이 수행하여 에칭 전 구리층만 있던 영역이 에칭 후 초음파 세척을 통해 구리가 모두 제거되어 스테인리스강 표면으로만 구성되어 있음을 확인하였다.

이러한 연구 결과는 레이저 패터닝에 의해 제작된 구리층이 전해에칭 시 보호마스크로 활용될 수 있다는 가능성을 확인시켜준 결과라 볼 수 있다.

6. 결 론

스테인리스강의 전해에칭에서 포토마스크 대신 레이저 패터닝을 통한 구리 도금층을 보호 마스크로 활용하기 위한 도금층 패터닝 특성 연구를 수행하였다. 전해도금 시 전압 및 도금 시간 조건에

따라 구리 도금층의 두께와 도금층의 균일성 등이 변화함을 확인하였다. 그 결과 5 V 이상의 전해도금 조건에서는 구리층의 두께가 두꺼워져 구리층의 제거를 위한 레이저 패터닝 횟수가 과도해지게 되고, 형성된 구리 도금층 또한 불균일한 표면을 가지고 있어 레이저 패터닝이 균일하게 수행되지 않았다. 3 V 전압의 전해도금 시에는 120초 이내의 도금시간으로 구리층을 형성하는 경우 레이저 패터닝이 원활하게 수행되었다. 또한 3 V, 60초의 전해도금 조건에서는 구리 도금층의 두께가 5 μm 내외로 형성되었으며 이 경우 레이저 패터닝 반복 횟수가 9회 이상이 되면 제거된 구리 도금층 경계 부분이 불균일해지고 구리 도금층 아래의 스테인리스강 표면이 손상되는 것을 확인 할 수 있었다. 전해에칭 시 보호마스크로 구리층을 활용하기 위해서는 레이저 패터닝에 의해 균일한 표면의 구리층이 원하는 영역에서 스테인리스강 표면으로부터 잘 제거되도록 전해도금 시 인가 전압 1 V~5 V, 도금 시간 120초 이내로 선정하고 레이저 패터닝에 의해 구리층 경계가 불균일해지지 않도록 레이저 패터닝 횟수를 선정해야 한다.

상기 전해도금 조건의 범위에서 구리 도금층을 스테인리스강에 형성시켜 레이저 패터닝한 후 구리층을 보호층으로 이용한 전해에칭 결과로부터 패터닝된 구리층이 전해에칭 시 보호 마스크로써 활용될 수 있음을 확인하였다.

후 기

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

References

[1] Madou, M. J., 2002, Fundamental of Microfabrication, CRC Press LLC, Boca Raton.

[2] Datta, M., Landolt, D., 2000, Fundamental Aspects and Applications of Electrochemical Microfabrication, Electrochim. Acta. 45 2535-2558.

[3] Datta, M., Harris, D., 1997, Electrochemical Micromachining: An Environmentally Friendly, High Speed Processing Technology, Electrochim. Acta. 42:20-22 3007-3013.

[4] Madore, C., Landolt, D., 1997, Electrochemical Micromachining of Controlled Topographies on Titanium for Biological Applications, J. Micromech. Microeng. 7 270-275.

[5] Chauvy, P. F., Hoffmann, M., Landolt, D., 2003, Electrochemical Micromachining of Titanium Using Laser Oxide Film Lithography: Excimer Laser Irradiation of Anodic Oxide, Appl. Surf. Sci. 211 113-127.

[6] Shin, H. S., Park, M. S., Chu, C. N., 2011, Electrochemical Etching Using Laser Masking for Multilayered Structures on Stainless Steel, CIRP Ann-Manuf. Technol. 59:1 585-588.

[7] Shin, H. S., Chung, D. K., Park, M. S., Chu, C. N., 2011, Analysis of Machining Characteristics in Electrochemical Etching Using Laser Masking, Appl. Surf. Sci. 258:15 1689-1698.

[8] Shin, H. S., 2017, Electrochemical Etching of Metal Using Electro-Deposition, Proc. 2017 KSMTE Autumn Conference, 195.