

금속이온과 나노입자를 함유한 수용액을 이용한 이광자 흡수 광환원 공정 정밀화에 관한 연구

¹손용, ¹임태우, ¹양동열*, ²Prabhakaran Prem, ²이광섭
¹한국과학기술원 기계항공시스템학부, ²한남대학교 생명정보신소재공학과
E-mail: dyyang@kaist.ac.kr

Study on an Efficient Fabrication of Metallic Micro-patterns using Metallic Ion and Nano-particles Solution in the Nano-Streolithography

¹Yong Son, ¹Tae Woo Lim, ¹Dong-Yol Yang, ²Prem Prabhakaran, ²Kwang-Sup Lee
¹Korea Advanced Institute of Science and Technology, ²Hannam University.

Abstract

In this study, direct fabrication of metallic micro-patterns with a high spatial resolution is tried employing the two-photon induced photoreduction process. A metallic pattern is fabricated by means of photoreduction of the metallic solution using a femtosecond laser. The metallic solution is composed of metallic salt, and a polymer which serves a uniform arrangement of silver ions. For an efficient fabrication, continuous forming window is obtained and direct seed generation method is proposed, generating metallic nano-particles in the metallic solution. Through this work, precise silver lines and two dimensional micro-patterns with a minimum width of 400nm are fabricated using the developed process.

1. 서론

금속은 우수한 전기전도성으로 전자회로를 구성하는 재료로 쓰일 뿐만 아니라 나노/마이크로 크기로 작아짐에 따른 고굴절률 및 표면 플라즈몬 공명 현상 등의 우수한 광학적 성질로 고효율 광학소자 제작 등 그 활용가능 범위가 넓은 재료로 평가되고 있다. 기존의 마이크로 금속형상 제작공정을 이용하여 3 차원 형상을 제작할 수 있지만 고효율 및 고기능성 전자/광학 소자 제작을 위한 완전한 3 차원 마이크로 금속형상을 제작하기에는 어려움이 있다. 이에 따라 광원의 회절한계를 극복하여 나노급 정밀도를 지니고 3 차원 미세 금속형상 제작에 유리한 이광자 흡수 광환원 현상 (two-photon induced photoreduction)을 이용한 연구가 최근에 이루어지고 있다.(1-3) 기존의 이광자 흡수 광환원 현상을 이용한 3 차원 마이크로 금속형상 제작은 환원된 금속입자가 레이저에 의해 가열되어 금속이온 수용액 내부에 기포가 발생하여 균일한 금속형상 제작이 어려운 단점이 있어 열 발생을 최소화하여 정밀한 마이크로 금속형상 제작에 관한 연구가 필요한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 금속이온을 균일하게 배열시켜주는 기능성 고분자를 포함한 금속이온 수용액을 이용하여 이광자 흡수 광환원 공정의 정밀화를 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해

균일한 금속형상 제작을 위한 균일 제작조건 (continuous fabrication window; CFW)을 도출 하였고 이광자 흡수 광환원 효율을 높이기 위해 금속이온 수용액의 초음파 가진을 통한 금속나노입자의 생성 방법을 제안하여 마이크로 금속형상 제작에 대한 정밀도 개선을 수행하였다.

2. 본론

2.1 이광자 흡수 광환원 공정

이광자 흡수 광환원 공정 시스템은 펨토초 레이저 (femtosecond laser)를 광원으로 사용하였고 옵티컬 셔터를 이용하여 레이저 on / off 를 제어 하였다. 레이저 빔의 위치는 고정시키고 시편 위치를 제어하기 위해서 0.1 nm 의 정밀도 (resolution)를 갖는 피에조 스테이지 (piezo stage)를 사용하여 시편의 위치를 제어 하였다.

금속이온 수용액은 금속이온의 배열 향상을 위한 고분자인PSS ((poly(4-styrenesulfonique acid) 18wt. % in H₂O, (C₈H₈O₃S)_n)에 질산은 (AgNO₃)을 녹여 만들었다. Fig. 1 은 이광자 흡수 광환원 공정에 의해 마이크로 금속형상이 제작되는 과정을 나타낸다. Fig. 1(a)와 같이 PSS고분자의 음전하 부분에 의해 금속 이온이 정전기적 인력으로 균일하게 배열되어진 금속이온 수용액을 커버 글라스 위에 스프인코팅 하여 시편을 만들며, Fig. 1(b)와 같이 이광자 흡수 현상에 의해 물로부터 전자를 받아 Fig. 1(c)와 같이 일부 고분자를 포함한 금속형상을 제작할 수 있다.

2.2 균일 제작조건 도출 및 금속나노입자 생성을 통한 금속형상 제작 정밀화

금속이온 수용액의 이광자 흡수 광환원 효율 증가를 통한 금속형상 제작 정밀화를 위하여 금속나노입자를 분산제를 이용하여 첨가하는 방법이 있다.(4) 하지만 본 연구에서는 효율적으로 금속나노입자를 포함하기 위하여 초음파가진을 이용하여 금속이온 수용액 내부에 저절로 금속나노입자를 생성 시켜 정밀한 금속 형상 제작이 가능하게 하였다. Fig. 2 는 저절로 질산은이 석출되지 않는 조건인 1.5 M 금속이온 수용액에 대한 레이저 파워 및 단위 조사시간에 따른 선폭 변화를 나타낸 그래프이다.

금속형상 균일제작 조건(CFW)인 condition I 에서는

균일한 단일선을 얻을 수 있지만 레이저 조사량이 충분하지 못한 조건인 condition II에서는 이광자 흡수 광환원 현상이 불충분하여 일부만 제작됨을 알 수 있고 레이저 조사량이 과도한 경우인 condition III에 대해서는 이중선이 제작됨을 알 수 있다. Fig. 3 은 본 연구에서 제안한 초음파가진을 통해 금속이온과 나노입자를 포함한 2.0 M 금속이온 수용액에 대한 레이저 파워 및 단위 조사시간에 따른 선폭 변화를 나타낸 그래프로 CFW 가 확장되어 레이저 파워 60mW, 조사 속도 (40nm/5ms)에 대하여 400nm 선폭을 갖는 균일한 금속선을 제작 하였으며, Fig.4 는 각 조건에 따라 제작된 금속선을 보여준다. Fig.5 는 도출된 조건을 이용하여 정밀한 2 차원 형상 제작이 가능함을 보여준다.

3. 결론

본 연구는 이광자 흡수 광환원 공정을 이용한 마이크로 금속형상 제작공정 정밀도 개선을 위하여 균일제작 조건인 CFW(continuous fabrication window)를 도출 하였고 이광자 흡수 광환원 효율 증가를 위해 초음파 가진을 통해 금속이온과 나노입자를 포함한 금속이온 수용액 사용을 제안하였다. 이렇게 제안된 방법을 이용하여 CFW 를 확장할 수 있었고 최소 레이저 조사조건인 레이저 파워 60 mW, 단위 조사시간 5 ms 에 대하여 최소 선폭 400 nm 의 균일한 금속선을 제작 하였으며 나노급 정밀도를 갖는 2 차원 패턴을 제작하였다. 본 연구에서 도출한 이광자 흡수 광환원 공정은 향후 3 차원 미세 금속형상 제작을 위한 공정에 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. D.Y. Yang, *et al.*, *Applied Physics Letters* **90**, 013113 (Jan, 2007).
2. A. Ishikawa, T. Tanaka, S. Kawata, *Applied Physics Letters* **89**, 113102 (Sep, 2006).
3. M. Consales *et al.*, *SPIE* **6470**, 64700 (Feb, 2007).
4. F. Stellacci *et al.*, *Advanced Materials* **14**, 194 (Feb, 2002).

그림. 1 이광자 흡수 광환원 공정. (a) A metallic solution, (b) two-photon induced photoreduction, (c) generation of silver particles with a polymer.

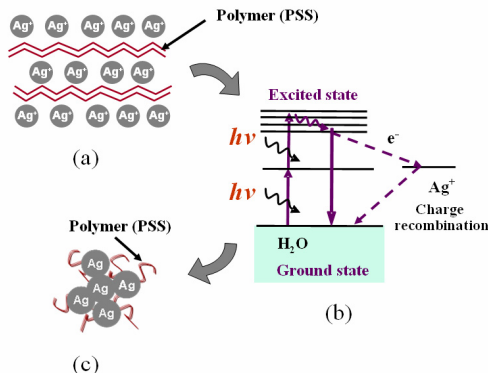


그림. 2 Experimental results using the 1.5M metallic solution.

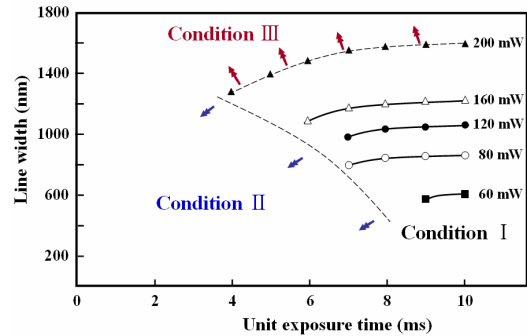


그림. 3 Experimental results using the 2.0M metallic solution with 10min sonication.

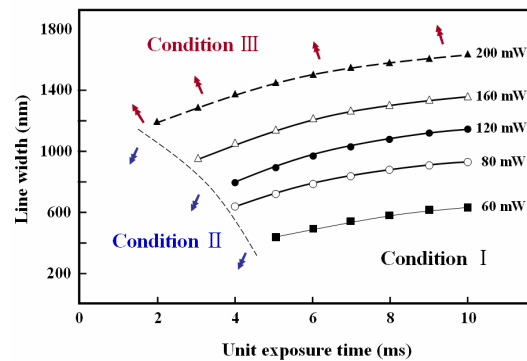


그림. 4 SEM images of fabricated lines using the 2.0M metallic solution (a) 60mW, (b) 200mW

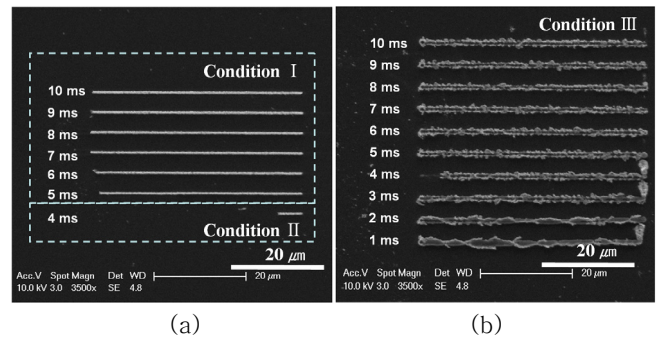


그림. 5 SEM image of the fabricated by two-photon induced photoreduction process: laser power 60mW, unit exposure time 5ms.

