

UV 임프린팅 공정을 이용한 금속막 필터제작

노철용¹ · 이남석¹ · 임지석¹ · 김석민¹ · 강신일[#]

Fabrication of Metallic Nano-Filter Using UV-Imprinting Process

Cheol Yong Noh, Namseok Lee, Jiseok Lim, Seok-min Kim, Shinill Kang

(Received June, 2, 2005)

Abstract

The demand of on-chip total analyzing system with MEMS (micro electro mechanical system) bio/chemical sensor is rapidly increasing. In on-chip total analyzing system, to detect the bio/chemical products with submicron feature size, a filtration system with nano-filter is required. One of the conventional methods to fabricate nano-filter is to use direct patterning or RIE (reactive ion etching). However, those procedures are very costly and are not suitable for mass production. In this study, we suggested new fabrication method for a nano-filter based on replication process, which is simple and low cost process. After the Si master was fabricated by laser interference lithography and reactive ion etching process, the polymeric mold was replicated by UV-imprint process. Metallic nano-filter was fabricated after removing the polymeric part of metal deposited polymeric mold. Finally, our fabrication method was applied to metallic nano-filter with 1 μ m pitch size and 0.4 μ m hole size for bacteria sensor application.

Key Words : Metallic Membrane Filter, Reactive Ion Etching, UV-Imprinting, Holographic Lithography

1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electrical Mechanical System) 기술을 응용한 생물학적 또는 화학적 센서 시스템에 관한 관심이 증대되고 있다. 또한, 센서 시스템에 특정 물질의 필터링을 위한 필터를 조합한 일체형 통합 센서 시스템(on-chip total analyzing system)의 필요성이 대두되고 있다[1]. Fig.1 은 본 연구에서 제작된 나노 필터를 조합한 일체형 통합 센서 시스템의 개략도를 보여준다. 이러한 필터 제작을 위해, 주로 멤브레인(membrane) 구조물 위에 나노 패터닝 및 RIE (reactive ion etching) 공정을 응용하여 멤브레인 필터를 직접 제작하는 연구가 보고된 바 있다[2]. 그러나 나노 패터닝 및

RIE 를 통해 필터를 제작하는 방식은 많은 제조 단가 및 시간이 요구되어, 미세필터의 양산에는 한계가 있다.

본 연구에서는 UV 임프린팅 공정을 응용한 금속막 필터 제작 방식을 제안하였다[3-7]. Fig. 2는 본 연구에서 제안된 금속막 필터의 제작 공정을 보여준다. 홀로그래픽 리소그래피, RIE 를 통해 Si 마스터를 제작하고, UV-임프린팅 공정을 통해, 금속막 필터를 제작할 수 있는 폴리머 몰드를 복제하였다. 제작된 폴리머 몰드 위에 니켈(nickel) 박막을 증착한 후, 습식 식각(wet etching) 공정을 통해 폴리머를 제거하고 금속막 필터를 제작하였다. 제작된 금속막 필터는 홀(hole) 직경 500nm, 피치 1 μ m 의 크기를 가지며, 이러한 크기의 필터는 막

1. 연세대학교 기계공학부
교신저자 : 연세대학교, E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

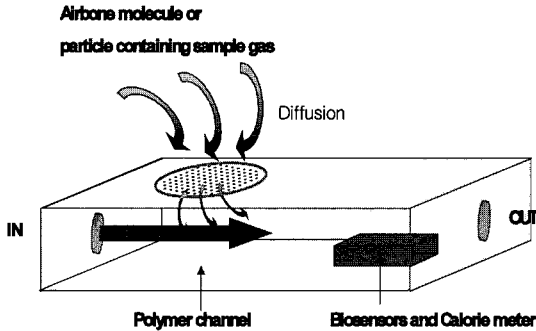


Fig. 1 Schematic of on-chip sensing system using nano-filter

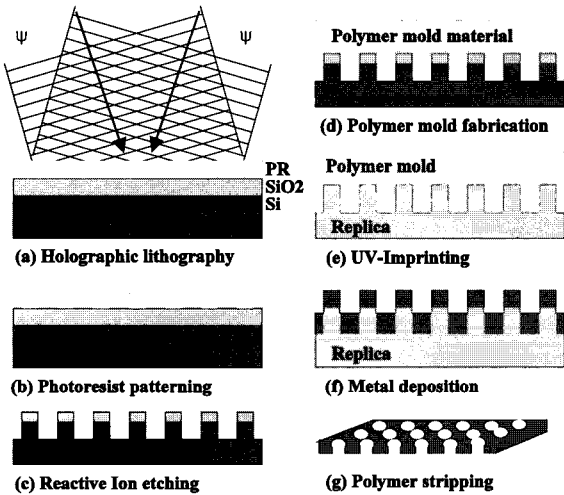


Fig. 2 A simple nano-filter fabrication process

테리아 또는 효모(100~1um) 등의 바이오 입자의 필터링에 응용될 수 있다.

2. 금속막 필터 제작

2.1 홀로그래픽 리소그래피 방법을 응용한 나노 패턴 제작

500nm 급 기공을 가진 화학적 필터와 같은 고품위 나노 구조물을 저가로 생산하기 위해서는 몰드(mold)를 이용하여 패턴을 복제하는 방식이 적합하다. 이러한 몰드를 제작하기 위해서 먼저 초기 나노 패턴의 제작이 필요하다. 다양한 방법의 나노 패턴 제작 공정 중에서, 비교적 대면적 패턴 제작이 용이하고, 균일한 나노 패턴을 제작

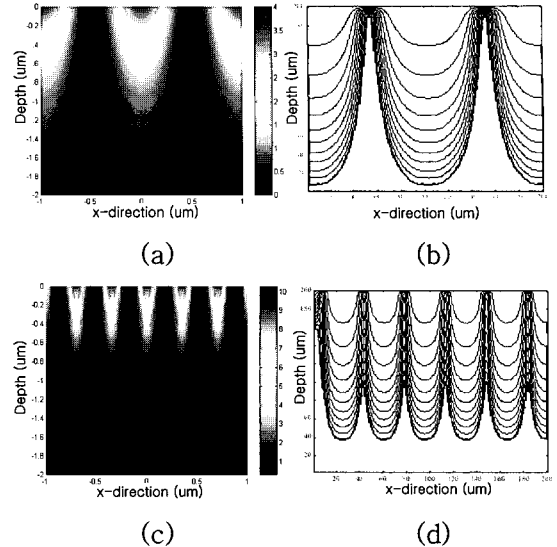


Fig. 3 (a), (c) Simulated intensity profile distribution and (b), (d) Simulated photo-resist surface profile with development time : Exposing condition for interference pattern of (a), (b) 1 um pitch and (c), (d) 350nm pitch

할 수 있는 홀로그래픽 리소그래피 방법을 선정하였다. 이 방법을 이용하여 우수한 나노 패턴을 제작하기 위해서는 정확한 공정 조건에 대한 연구가 필요하다.

$$p = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

식 (1)에서 보는 바와 같이, 나노 패턴의 주기(p)는 레이저의 파장(λ)과 두 평면파가 이루는 각(θ)에 의해 결정되므로, 두 평면파의 각을 조절하여 나노 패턴의 주기를 결정할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 홀로그래픽 리소그래피 공정의 시뮬레이션 결과를 보여준다. Fig. 3(a)는 두 평면파가 간섭하여 photo-resist에 나타나는 간섭무늬를 보여준다. photo-resist의 깊이가 깊어질수록 빛을 흡수하여 빛의 세기가 점점 약해짐을 볼 수 있다. Fig. 3 (b)는 이렇게 노광된 photo-resist를 현상시간에 따라 나타나는 단면이다. Fig. 3 (c), (d)는 패턴의 주기를 350nm로 작게 한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 나노 패턴의 주기를 350nm로 낮추는 따라, 패턴의 최대 높이는 낮아짐을 알 수 있다.

이러한 라인(line)패턴을 제작하는 홀로그래픽

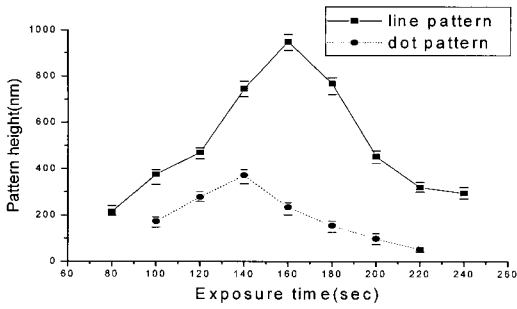


Fig. 4 Effects of 1st and 2nd exposure times on height of line pattern and dot pattern, respectively

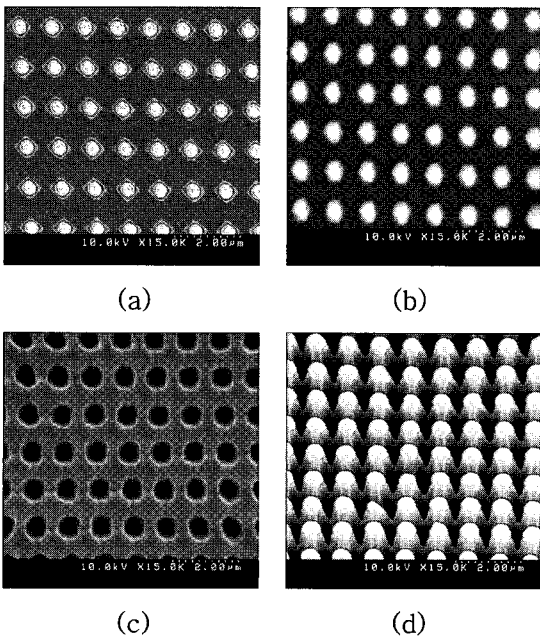


Fig. 5 SEM images of (a) PR pattern, (b) reactive ion etched silicon pattern (c) polymer mold, and (d) replicated nano dot array

리소그래피 광학시스템을 이용하여 1차 노광한 웨이퍼를 90° 회전하여 2차 노광하는 방법으로, 일정한 주기를 갖는 2차원 도트(dot)형태의 나노 패턴을 제작하였다. 홀로그래픽 리소그래피에서 중요한 변수들은 빛의 세기, 노광 시간 및 현상시간이다. 본 연구에서는 시뮬레이션 결과 데이터를 기반으로 노광시간과 현상시간을 주요 공정 변수로 하여 반복실험을 진행하였다. Fig. 4는 노광시간의 변화에 따른 나노 패턴의 높이의 변화를 보여준다. 초기에 광의 노광시간이 길어짐에 따라, 즉

노광 에너지가 감광막 내부에 충분히 공급되는 경우, 패터닝된 감광막 형상의 높이차가 증가하게 된다. 하지만 노광시간이 계속 증가하게 되어 노광에너지의 포화상태에 이르면, 패터닝된 형상의 마루(peak)부분의 높이가 낮아지면서 패턴 형상이 낮아지는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다. 1차 노광의 경우에는 적절한 노광 에너지가 공급된 160초일 때, 2차 노광의 경우에는 140초일 때, 가장 높은 패턴이 제작되었다. 하지만 140초일 때 제작된 패턴은 필터에 응용할 수 있는 완전한 도트(dot) 패턴이 아니라 도트와 도트사이가 연결된 형상을 가지고 있었다. 그러므로, Fig. 5(a) 와 같이 도트 패턴이 각각 독립적으로 유지되어 필터 제작에 적합한 형상과 배열을 갖는 도트 패턴을 180초의 노광시간에서 얻을 수 있었다.

2.2 금속막 필터 제작

나노 금속막 필터는 Fig. 2의 공정 순서를 따라 제작하였다. Fig. 5(a)는 SiO₂로 산화시킨 Si 웨이퍼 위에 홀로그래픽 리소그래피 공정을 통해 제작된 photo-resist 초기 패턴을 보여준다. 측정된 패턴의 높이는 155nm 이며, 그림에서 보는 바와 같이, RIE 공정을 위한 베리어(barrier)로 응용하기에 적합한 형상 및 배열을 가지는 도트패턴이 제작되었음을 볼 수 있다.

photo-resist 초기 패턴을 barrier 로 사용하여 RIE 공정을 통해 SiO₂ 산화층을 패터닝하였고, 다시 SiO₂ 패턴을 barrier 로 사용하여 Si 웨이퍼를 패터닝하였다(Fig. 2(b),(c)). PR 에 비해 SiO₂ 의 etch resistance 가 우수하여, SiO₂ 를 barrier 로 한 RIE 공정을 통해 고세장비의 Si 마스터 패턴을 제작할 수 있었다. Fig. 5(b)는 두 번의 RIE 공정을 통해 제작된 Si 마스터 나노 패턴의 SEM 사진을 보여준다. 이런 RIE 공정을 통해, 고세장비를 지닌 Si 마스터를 제작함으로써, 설계된 금속막 필터의 두께보다 충분히 높은 도트 패턴을 지닌 폴리머 몰드의 제작에 응용할 수 있었다.

제작된 Si 마스터를 이용하여 UV-임프린팅 방법을 통해 폴리머 몰드를 제작하였다. UV-임프린팅 방법은 Si 마스터(mother) 패턴에 손상을 주지 않는 공정으로서, 하나의 Si 마스터로 대량의 폴리머 몰드를 제작 할 수 있는 공정이다. Fig. 5(c) 및 (d)은 이러한 UV-임프린팅 방법으로 제작된 음각 및 양각 패턴을 지닌 폴리머 몰드의 SEM 사진이다.

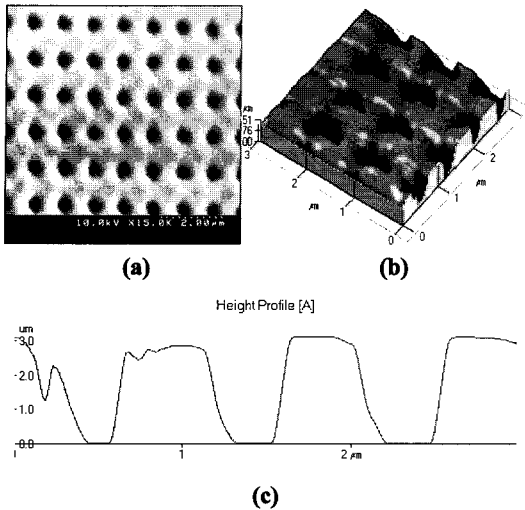


Fig. 6 (a) SEM image of nickel membrane filter (b) AFM image of nickel membrane filter (c) profile of nickel membrane filter

제작된 폴리머 몰드 위에 E-beam evaporation 방식을 통하여 3000Å의 니켈(Ni) 금속막을 제작하였다. 폴리머 몰드의 패턴 위에 니켈이 증착되면서 폴리머 몰드의 패턴이 금속막에 전사되어, 홀(hole) 형상을 지닌 금속막 필터 형상이 제작되었다. 습식 식각 공정을 통해 폴리머 몰드를 제거함으로써 금속막 필터가 제작되었다. Fig. 6은 제작된 금속막 필터의 SEM, AFM 이미지 및 측정된 단면 형상을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 제작된 금속막 필터는 홀 직경 500nm, 두께 300nm의 크기를 가지고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 UV 임프린트 기술을 응용한 금속막 필터의 제작 공정을 제안하였다. 홀로그래픽 리소그래피 및 RIE 공정을 통해 음각 나노 패턴이 있는 Si 마스터를 제작하고, UV 임프린팅을 통해 고세장비 패턴을 지닌 폴리머 몰드를 제작하였다. 제작된 폴리머 몰드 위에 니켈(nickel) 박막

을 증착한 후, 습식 식각(wet etching) 공정을 통해 폴리머를 제거함으로써, 홀(hole) 직경 500nm을 갖는 금속막 필터를 제작하였다. 본 연구에서 제작된 금속막 필터는 bacteria 또는 fungi(100~1um) 등의 Bio particle의 필터 시스템에 응용이 가능하다. 다양한 홀 사이즈의 필터제작 및 on chip sensing system에 적용하는 실험적 연구가 진행 중이다.

후 기

본 연구는 21세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010001-04K1401-00610)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Cees J M van Rijn, Gert J Veldhuis, Stein Kuiper, 1998, Nanosieves with microsystem technology for microfiltration applications. *Nanotechnology* 9: pp. 343~345.
- [2] Xing Yang, Joon Mo Yang, Yu-Chong Tai, Chih-Ming Ho, 1999, Micromachined membrane particle filters. *Sensors and Actuators* 73: pp. 184~191.
- [3] Seok-min Kim, Shinill Kang, 2003, Replication qualities and optical properties of UV-moulded microlens arrays. *Journal of Physics D: Applied Physics* 36: pp. 2451~2456.
- [4] S. Kim, D. Kim, S. Kang, 2003, Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process, *Journal of Microlith., Microfab., Microsyst.*, Vol.2, No.4, pp. 356~359.
- [5] 김석민, 임지석, 강신일, 전병희, 2004, UV 성형을 통한 마이크로 렌즈 어레이의 제작, *한국소성가공학회지*, 제 13 권 제 3 호, pp. 236~241.
- [6] 김석민, 김동목, 강신일, 전병희, 2002, 전사성 향상을 위한 마이크로 UV 성형 공정 최적화, *한국소성가공학회 2002년도 추계학술대회*, pp. 343~346.