

플렌옵틱 현미경 적용 3차원 분해능 시편 제작 연구

김치훈, 손동훈, 김상윤, 박지원, 이문섭
한국전자통신연구원 호남센터 인공지능융합연구소
e-mail : k77chihun@etri.re.kr

A Study on the Production of Three-Dimensional Resolution Specimens applied for a Plenoptic Microscope

Chihoon Kim, Dong Hoon Son, Sang Yun Kim, Ji Won Park, Munseob Lee
Honam Research Center, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 연구는 3차원 영상정보를 얻을 수 있는 플렌옵틱 현미경 적용을 위한 3차원 해상도 타겟의 제작에 관한 것이다. 마이크로렌즈 어레이(Micro Lens Array, MLA)의 광학적 성능을 기반으로 측면, 축 해상도 및 시야각을 동시에 측정할 수 있도록 3차원 해상도 타겟을 설계했다. 각 블록의 너비는 최소 크기인 5um에서부터 점차 커져 24um의 너비로 구성하였다. 이 블록은 $0.46 \times 0.46 \text{ mm}^2$ 의 정사각형 모양안에 배열했다. 또한 실리콘 미세 패터를 형성하기 위해 포토리소그래피 방법과 이온 식각 공정을 기반으로 3차원 해상도 타겟을 제작했다. 에칭된 패터 모서리의 오목한 형태와 측면 벽의 스테핑(steping)을 제거하기 위해 저전력(30W) 및 압력(15mTorr)을 유지하면서 CF_4 (66%), SF_6 (16%) 및 O_2 (16%) 가스를 혼합하여, 매끄러운 표면과 뚜렷한 이방성 에칭 특성을 보였다.

1. 서 론

광학현미경은 시료를 통과한 빛을 이용하여 미세한 물체를 확대하여 관찰하는 광학 시스템이다. 광학현미경은 생명공학, 반도체산업, 재료과학산업, 전자회로 등의 산업 현장에서 사용된다[1]. 분해능 타겟은 이미징 시스템의 정확도와 성능을 측정하는 데 사용된다. 시스템 해상도, 대비, 변조 전달 함수(MTF), 피사계 심도(DOF) 또는 왜곡을 평가할 때 다양한 패턴을 사용하여 측정한다[2-3].

본 연구는 3차원 영상정보를 얻을 수 있는 플렌옵틱 현미경의 3차원 분해능 테스트 타겟을 제작하는 과정에 관한 것이다. MLA(Micro Lens Array)의 광학적 성능을 고려하여 측면, 축 및 시야각(field of view, FOV) 측정을 동시에 가능하도록 설계했다. 그리고 실리콘 미세 패터를 생성하기 위해 반응성 이온 에칭 기반 제조 공정을 이용했다. 공정 조건에서 저전력 및 저압을 CF_4 , SF_6 및 O_2 가스 조합과 결합했다. 제작된 샘플은 매끄러운 표면 및 측벽의 스테핑이 제거된 속성을 보여주었다.

2. 연구 방법

2.1 3차원 분해능 타겟 디자인 및 제작

이미징 광학 장치의 해상도 테스트는 여전히 일반적으로 USAF 1951 타겟을 사용하여 수행된다. 이 타겟에 사용된 패턴은 밝은 배경에 세 개의 어두운 선으로 구성됩니다. 이러한 패턴은 세 줄의 수직 및 수평 쌍으로 형성한다. 한 쌍의 가로, 세로 패턴을 요소라고 하며 요소들이

그룹을 이룬다. 그러나 이 타겟은 더 높은 해상도로 요소를 중앙에 배치하여 시야각의 모서리와 다른 수준의 해상도를 갖는다. 즉, 시스템의 성능을 적절하게 평가하려면 추가 이미지를 활용하기 위해 시야 주위에 대상을 재배치해야 하므로 테스트 시간이 길어진다. 따라서 기존 광학계의 분해능 테스트의 단점을 보완하기 위해 플렌옵틱 현미경에 맞는 분해능 시편을 설계했다. MLA(125um pitch)와 카메라 센서(5120 × 5120pixel)의 사양을 고려하였다. 따라서 대물렌즈의 배율에 따라 2.56mm(×5), 1.28mm(×10), 0.64mm(×20), 0.26mm(×50)의 FOV를 계산하였다. 수직 및 수평 막대는 수평 해상도를 계산하는 데 사용된다. 그리고, 이미징 시스템의 해상도는 막대가 흐려지기 시작하기 직전의 블록 조합으로 정의한다.

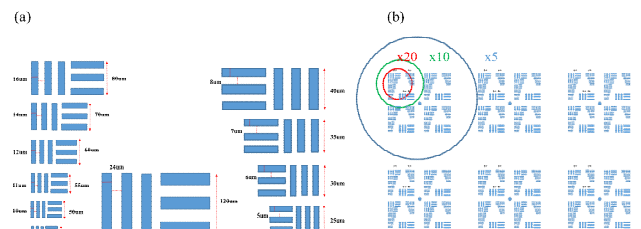


그림 1 플렌옵틱 현미경을 위한 3차원 분해능 시편 디자인으로 (a) 구체적인 블록 디자인과 (b) 시야각에 따른 블록 배치도

각 블록의 너비는 5um에서부터 점차 커져 24um의 너비로 구성하였다. 이 블록은 $0.46 \times 0.46 \text{ mm}^2$ 정사각형

형태로 배열하였다. 블록의 가장 작은 집합체인 $1.75 \times 1.75\text{mm}^2$ 공간에 4개의 정사각형 블록으로 구성하였다. 4개의 정사각형 블록은 $6.8 \times 4.5\text{mm}^2$ 공간에 6개의 동일한 패턴으로 구성하였다. 각각의 조합은 플렌옵틱 현미경의 분해능과 시스템의 성능을 확인하기 위한 결과로 Fig. 1에서 볼 수 있다.

수백 나노미터 범위의 scallop에 의해 유도된 표면 변조는 필요한 실리콘 구조 높이가 수십 마이크로미터인 경우 무시할 수 있다. 우리는 이온 보조 에칭 (RIE) 방법인 건식 에칭 방법을 사용했다. PR 용액(AZ GXR 604, 포지티브)은 먼저 그림 2(a)와 같이 4000rpm에서 40초 동안 Si 웨이퍼에 스핀 코팅하였다. 소프트 베이크는 $100\sim 110^\circ\text{C}$ 에서 90~120초 동안 수행하였다. 다음으로, 포토리소그래피는 고역 통과 UV 필터가 있는 350W 수은 램프에서 10~20초 동안 마스크 정렬기(Karl Suss Inc.)에서 처리하였다. Si 웨이퍼와 마스크 사이의 단단한 접촉 모드는 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이 원하지 않는 단파장을 차단했다. $100\sim 110^\circ\text{C}$ 에서 90~120초 동안 하드 베이크를 수행했다. PR은 그림 2(c)와 같이 MIF 현상액(AZ 500)에서 초음파 처리하여 제거되었다. 미세 구조는 각각 CF_4 , SF_6 및 O_2 와 함께 약 $15\sim 100\text{mTorr}$ 에서 30W 및 100W에서 건식 에칭 시스템(FABStar, TTL)을 사용하여 패턴화되었다. 그 후, 그림 2(d)와 같이 잔여 PR과 부산물을 제거하기 위해 O_2 플라즈마로 식각을 수행하였다.

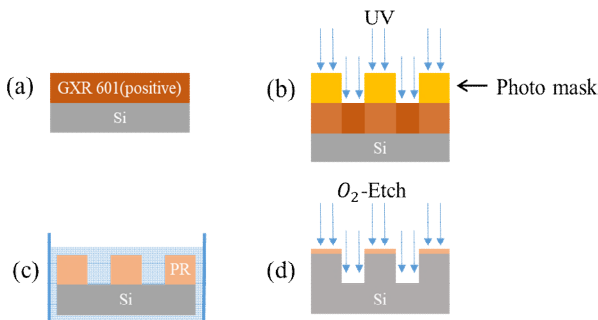


그림 2 (a) PR용액이 Si 기판에 스핀코팅되었고, (b) UV로 미세 패턴을 형성, (c) 현상액에 담궈 UV에 조사된 PR용액 제거, (d) O_2 플라즈마 에칭으로 부산물 제거

3. 연구 결과

3차원 해상도의 타겟을 제작하기 위해 높은 중형비를 고려하지 않고 수직 높이 $500\text{ nm} \sim 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 로 샘플 공정을 진행하였다. 공정 조건을 수정하여 샘플의 윤곽과 표면 모양이 적절하게 나타났다. PR 도핑 후 샘플을 110°C 에서 60초 동안 소프트 베이크한 다음 UV 조사에 10초 동안 노출했다. 110°C 에서 60초 동안 하드 베이크를 수행하고, 나머지 PR은 90초 동안 현상액으로 제거하였다. RIE 에칭 동안 $\text{CF}_4(40\text{sccm})$ 및 $\text{O}_2(10\text{sccm})$ 가스 비율은 100mTorr 의 압력으로 유지하였고 150W가 10분 동안 인가되었다. Fig. 3(a)와 같이 거친 표면 현상이 관찰되었다. 거친 표면 형상과 측벽의 곡선 형태는 16% SF_6 가스를

첨가하여 수직 식각 능력을 향상시켰다. 또한, 산소의 비율을 최대 16%까지 높여 부산물과 고분자층의 증착 용량을 줄이고, 불소 원자 밀도를 높여 식각 능력을 향상시켰다. 높은 이온 대 중성 플럭스 비율과 낮은 압력에서 시스템의 이온-중성 충돌 확률 감소로 인해 이방성 에칭은 저압 작업에서 달성하기에 적합하다[15]. 웨이퍼 냉각은 높은 에칭율, 이온 충격 및 저압 작업을 달성하기 때문에 중요한 문제이기도 합니다. 이방성 식각률을 높이기 위해 15mTorr 의 낮은 압력을 유지하였고, 웨이퍼 냉각은 상온에서 수행하였다. Fig. 3(b)와 같이 바닥면이 매끄럽고 측벽과 바닥 사이에 적절한 이방성 식각 패턴을 볼 수 있다.

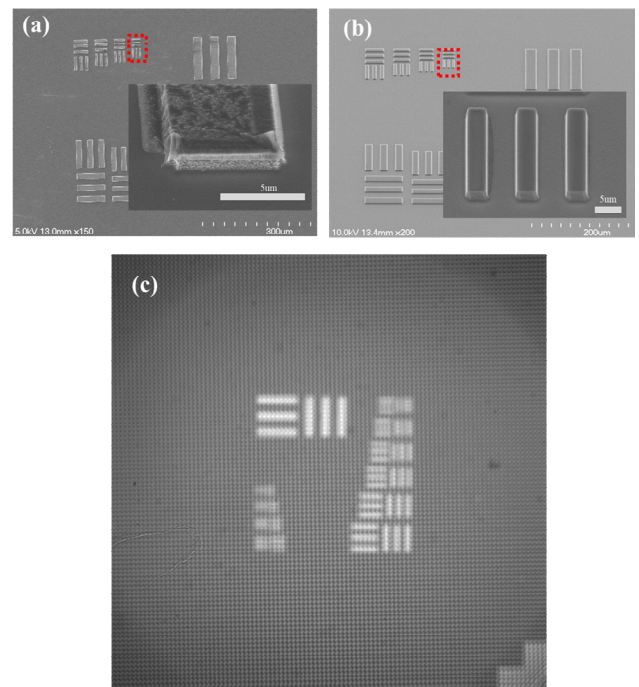


그림 3 (a) $\text{CF}_4(40\text{sccm})$ 및 $\text{O}_2(10\text{sccm})$ 가스 비율로 150W에서 에칭, (b) $\text{CF}_4(40\text{sccm})$, $\text{SF}_6(10\text{sccm})$ 및 $\text{O}_2(10\text{sccm})$ 가스 비율로 30W에서 에칭된 샘플, (c) 플렌옵틱 현미경으로 촬영한 분해능 시편

4. 결 론

본 연구는 3차원 영상정보를 얻을 수 있는 플렌옵틱 현미경용 분해능 타겟의 제조공정에 관한 것이다. MLA 및 카메라 센서의 사양을 기반으로 3차원 해상도 타겟을 설계했다. 분해능 테스트 대상은 측면, 축 분해능 및 시야각을 동시에 측정하도록 설계하였다. 90% CF_4 와 10% O_2 가스의 비율을 유지하고, 100 mTorr 의 압력과 150 W를 인가하여 샘플을 제조하였다. 에칭 된 가장자리와 표면이 거칠고 불규칙한 형태가 관찰되었다. 30W 및 15mTorr 를 유지하면서 $\text{CF}_4(66\%)$, $\text{SF}_6(16\%)$ 및 $\text{O}_2(16\%)$ 가스를 결합했다. 매끄러운 바닥 표면과 뚜렷한 이방성 에칭 특성이 관찰되었다.

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로
정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.
2020-0-00168,(세부4)플렌옵틱 현미경 영상획득 및 검진기
술개발)

참 고 문 헌

- [1] Davidson, Michael W., Mortimer Abramowitz, "Optical microscopy", Encyclopedia of imaging science and technology 2, No.1106-1141, Jan 2002. pp.120.
- [2] Häusler, Gerd, "A method to increase the depth of focus by two step image processing", Optics Communications 6, No.1, Sep 1972, pp.38-42.
- [3] Nachmias, Jacob, "Effect of exposure duration on visual contrast sensitivity with square-wave gratings", Josa 57, No.3, Mar 1967, pp.421-427.