

폴리이미드 희생층을 이용한 마이크로 볼로미터의 제작

하원호*, 강호관*, 김민철*, 문성욱*, 오명환*, 김도훈**, 최종술**

*한국과학기술원 정보재료·소자 연구센터

**연세대학교 금속공학과

Fabrication of Microbolometer using Polyimide Sacrificial Layer

W.H.Ha*, H.K.Kang*, M.C.Kim*, S.Moon*, M.H.Oh*, D.H.Kim**, J.S.Choi**

*Korea Institute of Science and Technology

**Department of Material Science, Yonsei University

Abstract - 저가의 우수한 성능을 갖는 적외선 영상표시 소자 구현에 적합한 마이크로 볼로미터를 MEMS 기술을 사용하여 제작하였다. 작은 열질량을 갖는 마이크로미터 단위의 열적고립 구조(thermal isolation structure) 제작은 폴리이미드(PI2611)를 희생층으로 사용하여 최종적으로 ashing공정 단계에서 폴리이미드를 제거하여 마이크로 볼로미터 구조를 완성하였다. 이 때의 구조층으로는 PECVD 질화실리콘(SiN_x) 박막, 감지층으로 산화바나듐(VO_x) 박막을 사용하였다. 본 연구에서는 폴리이미드 패턴 형성시 건식식각 공정조건 변수에 따라서 패턴의 기울기를 조절하여 폴리이미드 측면에서 발생하는 불 균일한 박막 증착과 패터닝 문제를 개선하였다. 또한 저응력의 질화실리콘 박막을 사용하여 잔류응력에 의한 열적고립 구조의 뒤틀림 현상을 완화하였다.

1. 서 론

MEMS 기술은 기존의 집적회로 위에 기능성 소자인 센서와 액추에이터 등을 제작함으로써 소형화를 이루고 저가로 제작할 수 있는 장점이 있다. MEMS 기술을 이용한 적외선 영상표시 소자인 마이크로 볼로미터의 제작은 열적 고립구조의 형성이 용이하며 회로와의 monolithic한 제조공정을 사용하므로 저가로 제작이 가능하다. 또한 응답도와 감지도 등의 적외선 감지 성능을 향상시키기 때문에 적외선 영상 표시 소자 구현에

적합함을 보여준다. 적외선 감지층은 온도에 민감한 영향을 보이므로 주위와의 단열이 이루어져야 한다. 이를 위해 지지다리(supporting leg)에 의하여 떠 있는 membrane 형태의 구조물을 제작함으로써 열적으로 고립된 구조를 만들 수 있고 열질량과 열전도도를 최소화 할 수 있다. 본 연구에서는 마이크로 볼로미터의 열적 고립구조를 250℃ 이하의 저온공정을 이용하여 제작하였고, 희생층으로는 폴리이미드(PI2611)를 사용하였으며, 특히 폴리이미드의 건식식각 특성과 감지층으로 사용된 산화 바나듐(VO_x) 박막의 건식식각 특성을 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에서는 4단계 마스크 공정을 사용하여 단위 소자의 크기가 100×100 μm²인 마이크로 볼로미터를 제작하였다. 소자 제작은 250℃ 이하의 저온에서 공정을 하였으며 구조층으로는 PECVD SiN_x 박막을 low-stress 조건에서 증착하여 사용하였고, 감지층으로는 반응성 스퍼터링 방법에 의하여 증착된 1000~1200Å 두께의 VO_x 박막을 사용하였다. 최종적으로 O₂ 마이크로 웨이브 플라즈마를 이용한 ashing 공정단계에서 폴리이미드를 제거함으로써 열적 고립 구조를 완성하였다. 폴리이미드는 4000~6000 rpm에서 실리콘 기판에 spin 도포한 후 150℃에서 10분, 350℃에서 1시간

curing 하여 3.0~4.5 μ m 두께의 폴리이미드 층을 형성하였다. 표 1은 공정순서를 정리한 것이다.

Table 1. Process steps

	process step (#:mask number)	Material	thickness
1	sacrificial layer patterning (#1)	polyimide	3.0-4.5 μ m
2	bottom structure layer	SiN _x	3000 Å
3	Metalization (#2)	Cr	1000 Å
4	IR detecting layer (#3)	VO _x	1000 Å
5	upper structure layer (#4)	SiN _x	3000 Å
6	polyimide ashing		

2.2 폴리이미드의 건식식각

폴리이미드는 400 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서도 안정성을 가지며 낮은 잔류응력, 우수한 내화학적, 내구성 등의 성질을 가지고 있는 고분자 유기화합물로서 마이크로 일렉트로닉스에 많이 응용된다. 또한 희생층으로서의 폴리이미드는 ashing 공정에 의한 O₂ 플라즈마에 의해 희생층 제거가 용이해서 열적고립 구조 제작에 있어 기판에 구조체가 sticking되는 현상을 방지 할 수 있다. 폴리이미드 희생층 패터닝은 RIE(Reactive Ion Etching)를 사용하여 식각을 행하였다. 이때 패터 측면은 완만한 경사의 기울기를 가져야 후속 공정시 금속이 단락되는 것을 방지 할 수 있다. 식각에는 O₂ 와 CF₄ 가스를 혼합하여 사용하였다. 식각시 등방도

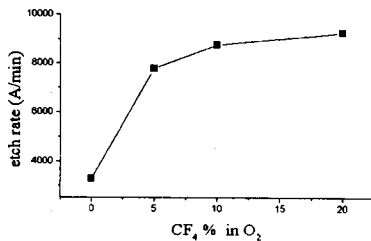


그림 1. CF₄ 농도에 따른 식각속도의 변화

는 공정 압력이 높을수록 증가하는 경향을 보이며, 식각 속도는 CF₄의 농도가 증가할수록 증가함을 그림 1에 나타내었다. CF₄의 농도가 5~10%일 때 등방도가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 그림 2는 등방도가 CF₄ 농도에 따라 변화하는 양상을 보여주는 전자현미경 사진이다.

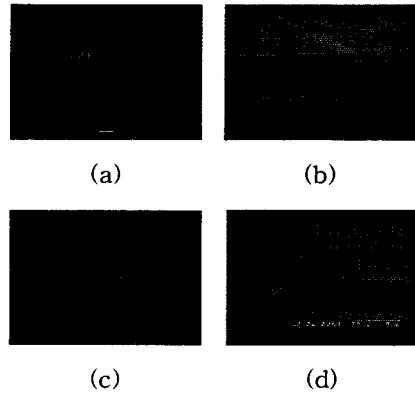


그림 2. 등방도와 CF₄ 농도에 따른 폴리이미드 측면 기울기 변화의 전자현미경 사진.

- (a) 20% CF₄ in O₂
- (b) 5% CF₄ in O₂
- (c) 50/50(O₂/He)
- (d) slope without under cut

2.3 PECVD SiN_x 박막의 잔류응력

구조층으로 사용되는 PECVD SiN_x 박막의 잔류응력은 2층 구조의 뒤틀림의 원인이 된다. 일반적으로 PECVD SiN_x 박막은 SiH₄/NH₄/N₂를 혼합하여 증착을 하며, 3 \times 10⁹ dyne/cm² 이상의 인장응력을 갖는다. 잔류응력을 줄이기 위하여 열전도도가 좋은 He 가스를 첨가하여 증착하면 N₂/He의 비율에 따라 N₂가 증가할수록 압축응력에서 인장응력으로 변화하는 경향이 나타나는 것으로 알려졌다. 본 실험에서는 N₂/He의 비율이 28~42% 구간에서 약 1.1 \times 10⁹ dyne/cm²의 낮은 인장응력을 가지는 박막을 얻을 수 있었다. 그림 3은 N₂/He의 비가 39.2% 일 때 250 $^{\circ}$ C에서 증착된 박막

의 NH₃ 양에 따른 굴절률과 증착속도의 변화를 보여준다. 그림 4는 저응력의 SiN_x 박막의 폴리이미드 희생층 제거 후의 평평한 구조층과 일정각도를 갖는 지지다리의 형상을 보여준다.

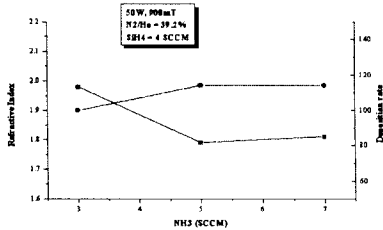


그림 3. NH₃ 양에 따른 굴절률과 증착속도의 변화 (● 증착속도, ■ 굴절률)

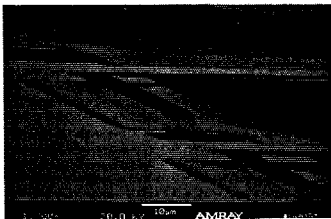


그림 4. 일정각도를 가지는 지지 다리 형상.

2.4 VO_x 박막의 건식 식각

저항형 마이크로 볼로미터의 감지층은 높은 TCR(Temperature Coefficient of Resistance) 값을 가지면서 잡음특성은 낮아야 하며 비저항값이 신호 출력을 위한 최적의 값을 가져야 한다. 본 연구에서 사용된 VO_x 박막은 반응성 스퍼터링 방법으로 제조되었으며 1~100 Ω·cm의 비저항 영역에서 -1~2.0 (%/K)의 TCR 값과 1.5E-12 Vrms/√Hz의 잡음 전압을 가졌다. VO_x 박막의 식각은 CF₄/O₂의 혼합가스를 사용하였으며, rf power와 O₂농도의 증가와 더불어 식각율이 증가함을 알 수 있었다. PR과의 선택비가 15이상임을 보여주는 O₂가 10%인 경우 약 600 Å/min 정도의 식각율

을 보였다. 그림 5는 40mTorr, 175W CF₄/O₂=36/4에서 식각을 수행한 후의 광학현미경 사진을 보여준다.

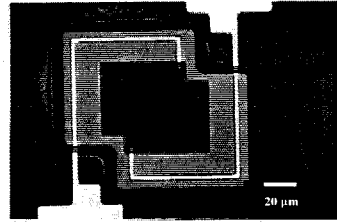


그림 5. VO_x 식각 후 광학 현미경 사진.

3. 결 론

본 연구에서는 MEMS 기술을 이용하여 마이크로 볼로미터를 제작하였다. 희생층으로 폴리이미드를 사용하였고, 건식식각 조건에 따라 패턴 측면의 기울기를 주어 후속 금속 증착 공정시 금속이 단락되는 것을 완화하였다. 구조층으로는 잔류응력을 최소화하기 위해 He를 첨가한 PECVD SiN_x 박막을 사용하여 뒤틀림을 방지하였다. 적외선 감지층인 VO_x 박막의 식각은 CF₄/O₂의 혼합가스를 사용하였으며, O₂의 증가에 따라 식각 속도가 증가함을 알 수 있었다. 최종적으로 O₂ 플라즈마를 이용해 희생층을 제거하여 2층의 열적고립 구조를 완성하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] B.E.Cole, R.E.Higashi, and R.A.Wood "Monolithic Two-Dimensional Arrays of Micromachined Microstructures for Infrared Applications", Proceeding of the IEEE, Vol. 86, 1679-1686, (1998)
- [2] Paul W. Kruse, David D. Skatrud, "Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems" Semiconductor and Semimetals, Vol. 47, Academic press, (1997)