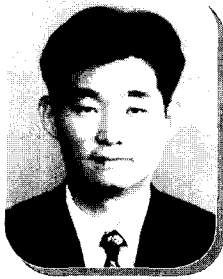
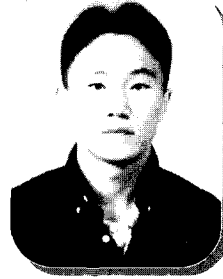


3차원 안테나 결합 마이크로볼로미터



· 문성욱 ·
한국과학기술연구원
마이크로시스템 연구센터 책임연구원



· 김근태 ·
한국과학기술연구원
마이크로시스템 연구센터 연구원

1. 서론

적외선 영상 감지 소자에는 감지 방식에 따라 크게 광자형 감지기(photon detector)와 열형 감지기(thermal detector)로 나눌 수 있다. 광자형 감지기는 응답 속도가 빠르고 감지도가 뛰어난 반면 파장이 제한적이고 냉각 시스템이 필요하여 가격이 높은 단점이 있다. 반대로 열형 감지기는 감지도는 광자형보다 떨어지지만 넓은 파장대에서 사용이 가능하고 냉각 시스템이 필요가 없고 가격이 저렴하여 산업용, 의료용 등에 폭넓게 이용되어지고 있다. 열형 감지기에는 크게 초전형(pyroelectric) 감지기, 열전대형(thermocouple) 감지기, 마이크로볼로미터(microbolometer)로 나눌 수 있는데, 초퍼(chopper)가 필요 없고 monolithic한 소자 제작이 용이한 볼로미터에 관한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있다.[1][2][3][4][5]

볼로미터는 입사된 빛이 물질의 온도를 변화시키고 그에 따라 저항값이 변화하는 특성을 이용한 것이다. 볼로미터의 성능을 향상시키기 위한 방법으로는 높은 TCR(Temperature Coefficient of Resistance)값을 가지는 흡수층의 개발과 열전도도(thermal conductance)를 낮추기 위한 열적고립구조(thermal isolation structure)의 제작 및 빛을 효과적으로 흡수층에 모으는 방법 등이 있다. 위의 방법 가운데 빛을 효과적으로 모으기 위한 방법으로

서 안테나를 결합하는 방법이 있다. 현재까지 개발된 안테나 결합 마이크로볼로미터는 주로 2차원 형태의 안테나를 결합한 것이었다. 그러나 2차원 안테나를 결합하면 전체적인 소자의 크기가 증가함으로써 어레이 형태로 제조하는데 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 3차원의 feed horn 안테나를 결합함으로써 전체적인 소자의 크기를 줄여서 어레이로의 제작을 가능하게 하였으며, 3차원 안테나의 우수한 지향성을 이용해서 어레이에서의 각 소자간의 잡음을 줄임으로써 감지도의 향상을 이룰 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 소자의 크기를 줄임으로써 전체적인 소비 전력을 줄일 수 있으며 열질량이 작아지므로 열시정수(thermal time constant)값이 작아지게 되어 고속의 영상 감지 소자에 사용되어질 수 있다. 그림1은 본 논문에서 제안된 3차원 feed horn 안테나 결합 마이크로볼로미터의 모식도이다.[6]

2. 설계

3차원 안테나의 설계는 conical horn 안테나, waveguide형 안테나와 feed horn antenna에 대해서 각각 HFSS를 이용해서 simulation을 해본 결과 feed horn 안테나가 가장 우수한 지향성을 가짐을 확인할 수 있었다. 그림2는 다음 식을 이용해서 설계된 안테나의 지향성을 simulation한 결과이고 20.8dB의 지향성(directionality) D_c 를 가졌

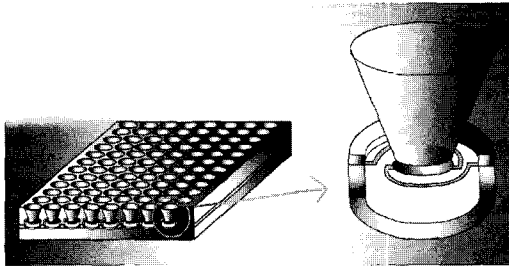


그림 1. 3차원 안테나 결합 마이크로볼로미터의 모식도.

다.[7]

$$DC(dB) = 10 \log_{10} \left[\epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a)^2 \right] = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{\lambda} \right) - L(s)$$

$$L(s) = -10 \log_{10}(\epsilon_{ap}) \cong (0.8 - 1.71s + 26.25s^2 - 17.79s^3)$$

$$s = \frac{d_m^2}{8\lambda l}$$

a : Radius of horn at the aperture

L(s) : aperture efficiency에 대한 directivity의 loss

C : aperture circumference

s : maximum phase deviation

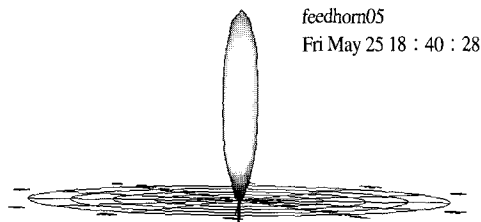


그림 2. 피드혼 안테나의 지향성 시뮬레이션 결과.

마이크로볼로미터의 설계는 안테나의 혼 지름과 마이크로볼로미터의 흡수층의 지름을 22 μ m로 일치 시켜서 손실을 최대한 줄일 수 있도록 하였다. 또한 열적고립구조를 위한 지지다리는 길이를 최대한 길게 할 수 있는 원형의 모양으로 하였으며 이때 82 μ m의 길이를 가졌다. 설계된 소자의 전체적인 구조는 그림 3과 같고 이때 thermal conductance G값과 heat capacitance C값은 다음 식으로부터 각각 4.65×10^{-8} [W/K]와 9.31×10^{-10} [J/K]로 계산되어 졌다.[8]

$$G = K \frac{wd}{l}, K : \text{열전도율}, W : \text{폭}, d : \text{두께}, l : \text{길이}$$

$$C = \rho cV, \rho : \text{밀도}, c : \text{비열}, V : \text{부피}$$

위의 두 식과 다음 식을 이용해서 소자의 detectivity D^* 는 2.37×10^8 [$cm \sqrt{Hz/W}$]로 계산 되었다.

$$D^* = \frac{\alpha R I \eta}{G \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \frac{\sqrt{Ad \Delta f}}{\sqrt{V n^2}}$$

(TCR) : $0.02 K^{-1}$

R(소자 저항) : 50K

η (흡수율) : 0.9

I(bias current) : 5 μ A

τ (thermal time constant) : C/G = 0.02s

$\omega = 2\pi \times 30Hz$

Ad(흡수층 면적) : $\pi \times 11 \mu m^2$

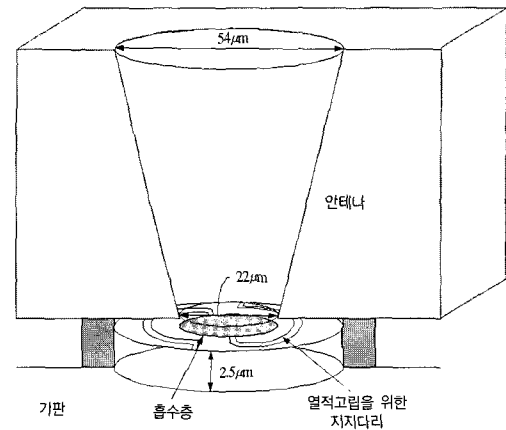


그림 3. 설계된 3차원 안테나 결합 마이크로볼로미터의 구조.

3. 실험

3.1 마이크로 볼로미터의 제작

마이크로볼로미터 제작의 기본 공정은 표면미세가공법(surface micromachining)을 이용하여 그림 4와 같은 순서로 진행되며 4개의 마스크가 이용되어진다. 먼저 희생층을 형성하기 위해서 polyimide(PI2610)를 2500rpm에서 spin coating 한 후 high temperature oven에서 300°C분위기로 curing을 하여 이미드화를 시켰다. 이때 폴리이미드막의 두께는 2.5 μ m를 가져서 희생층 제거 후에 흡수층과 기판 사이에 cavity를 형성하게 되어 흡수율을 증가시킬 수 있다. Curing 된 폴리이미드막을 AZ9260을 thick PR 마스크로 해서 RIE를 이용해 식각을 하였다. Thick PR을 이용함으로써 완만한 경사를 가지는 폴리이미드 형상을 구현할 수 있었다. 이 방법으로 후속 산화막 공정과 금속 패턴 공정에서의 단락 문제를 해결할 수 있었으며 둥근 형태의 폴리이미드 패턴을 얻을 수 있었다. 다음 단계로 SiNx를 PECVD로 3000 Å 증착하고 이 위에 Cr층을 1000 Å 증착한 후 RIE로 식각을 해서 metal contact 라인을 형성시켰다. 흡수층으로 VOx를 사용했는데 VOx(100 Å)/V(80 Å)/VOx(500 Å)의 두께로 증착한 후 후속 열처리를 거친 후 RIE로 식각해서 패턴을

형성하였다. 이때 VOx의 TCR(Temperature Coefficient of Resistance)값은 2.5%의 높은 값을 가졌다. 여기에 보호막으로 SiNx를 증착하고 RIE로 패턴을 형성하였다. 마지막으로 폴리이미드 희생층을 microwave plasma asher로 제거하면 최종적인 원형의 마이크로볼로미터가 완성되게 된다. 그림 5는 에칭 되어서 떠 있는 구조의 마이크로볼로미터의 SEM 사진을 보여주고 있다. 여기서 폴리이미드가 깨끗하게 에칭 된 것을 볼 수 있으며 SiNx 구조층이 휘어짐 없이 떠 있는 것을 확인할 수 있었다.

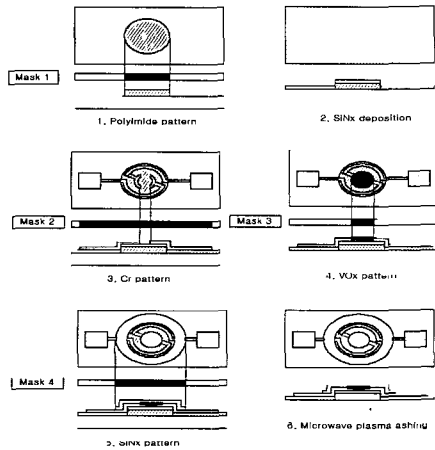


그림 4. 마이크로볼로미터의 제작 공정 순서도.

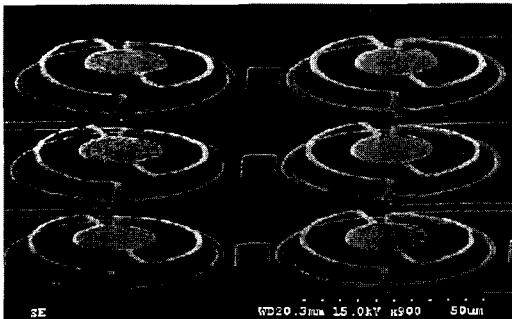


그림 5. 제작된 마이크로볼로미터의 SEM 사진.

3.2 3차원 안테나의 제작

3차원 피드혼 안테나의 제작은 경사 회전 노광을 할 수 있는 Mirror Reflected Parallel Beam Illumination(MRPBI)라는 장치를 이용해서 제작을 하였다. 이 방법은 먼저 PMER이라는 음성 감광제를 그림6과 같이 경사를 주고 회전을 시키면서 노광 하는 것으로 그림7과 같은 혼 모양의 몰드를 제작하였다. 이 몰드를 이용해서 PDMS를 몰드 사이에 주입함으로써 그림8과 같은 안테나 틀을 제작할 수 있었다.

3.3 볼로미터와 안테나의 결합

볼로미터와 안테나를 개별적으로 제작한 후 두개를 결합하는 것이 필요하다. 볼로미터와 안테나가 결합되는 bonding gap이 매우 작기 때문에 일반적인 bonding 기술을 적용할 수 없다. 따라서 PDMS를 주입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 볼로미터 사이에 2.5 μ m 높이의 microchannel을 만들어 주고 이 channel에 PDMS를 주입한 후 안테나를 결합하면 PDMS가 자연 경화되면서 결합되게 된다. 그림9는 PDMS를 이용한 bonding 방법을 보여주고 있다.

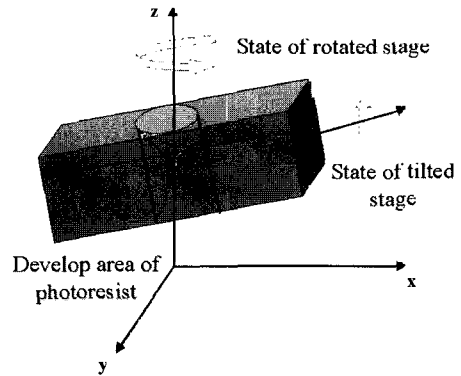


그림 6. 3차원 안테나 제작 방법.

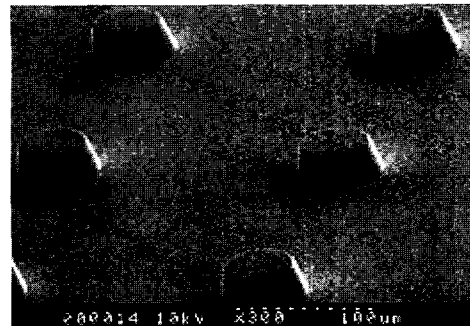


그림 7. 제작된 피드혼 안테나 몰드의 SEM 사진.

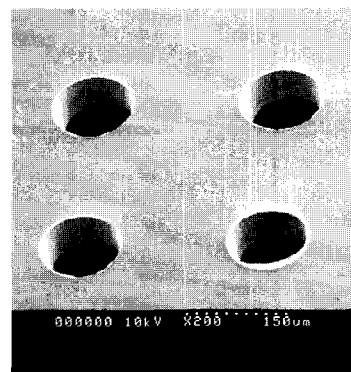


그림 8. 제작된 피드혼 안테나 틀의 SEM 사진.

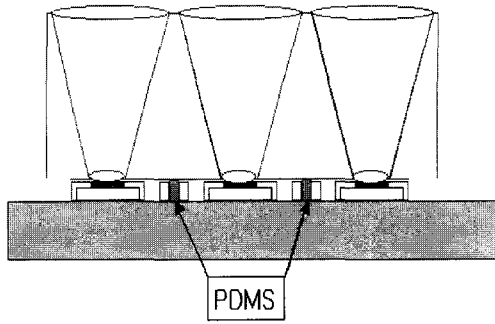


그림 9. PDMS 주입을 통한 결합 방법.

4. 결과 및 고찰

제작된 볼로미터의 흡수층인 VOx의 TCR을 측정해 본 결과 최고 2.56%/°C의 높은 TCR 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 그림10에서 보듯이 열처리 시간이 증가할수록 TCR 값이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

안테나 결합 볼로미터의 성능 향상 값을 검토해본 결과 이론상으로 Background Limited Infrared Performance(BLIP) 상태에서는 7배, scattered IR 상태에서는 최고 25배의 감지도의 향상을 나타내었다. 표는 각각의 형태와 조건에 따른 감지도와 신호대 잡음비를 비교한 것이다. 이를 통해 안테나 결합을 통해서 볼로미터의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

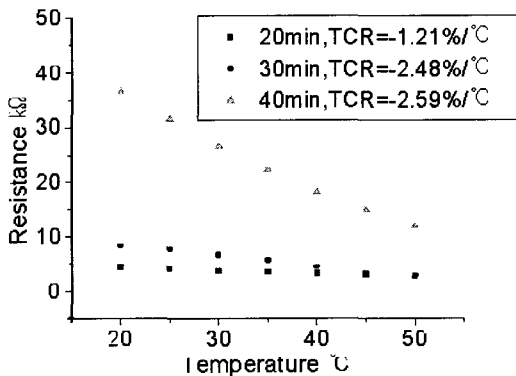


그림 10. 열처리 시간에 따른 TCR값 비교.

5. 결론

본 논문에서는 3차원 안테나를 마이크로볼로미터에 결합함으로써 감지도의 향상을 이룰 수 있는 새로운 방법을 제안 하였다. 이를 위해서 표면 마이크로머시닝 방법을 이용해서 볼로미터를 제작하였고 열처리를 통해서 흡수층의 TCR값을 향상 시켰으며

표 1. 3가지 형태에 대한 볼로미터의 성능 비교.

	Condition (Principle Noise)	Small-Area Bolometer	Antenna-Coupled Bolometer	Large-Area Bolometer
Detectivity	Area indep.	1	2	0.5~2
	BLIP	1	7	0.25~1
	Scattered IR	1	25	0.125~0.5
S/N ratio (intensity)	Area indep.	1	4	1~4
	BLIP	1	14	0.5~2
	Scattered IR	1	50	0.25~1

MPPBI system을 이용해서 3차원 혼 안테나를 제작하였다. 또한 안테나 결합을 통한 성능 향상값을 이론적으로 검증한 결과 최고 25배의 감지도 향상을 나타냄을 알 수 있었다. 마지막으로 안테나와 볼로미터를 결합하기 위한 방법으로 PDMS 주입 방법을 제안 하였다. 안테나 결합을 통해서 우수한 성능의 적외선 감지 소자를 제작할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 21C 프론티어 사업의 지능형마이크로시스템 사업단의 지원으로 수행되어 졌습니다.

참고 문헌

- [1] P. W. Kruse, "A comparison of the limits to the performance of thermal and photon detector imaging arrays", *Infrared Phys. Technology*, Vol. 36, p. 869, 1995.
- [2] Djuric, "New generation of thermal infrared detectors", *International conference on microelectronics*, Vol. 2, p. 559, 1995.
- [3] E. Cole, " Monolithic two-dimensional arrays of micromachined microstructures for infrared applications", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, p. 1679, 1998.
- [4] Paul W. Kruse, "Uncooled infrared focal plane arrays", *Proceedings of the IEEE*, p. 643, 1995.
- [5] I. A. Khrebtov, "Uncooled thermal IR detector arrays", *J. Opt. Technology*, Vol. 64, p. 511, 1997.
- [6] G. M. Rebeiz, "Monolithic millimeter-wave two-dimensional horn imaging arrays", Vol. 38, p. 1473, 1990.
- [7] C. A. Balanis, "Antenna Theory: analysis and design", p. 695, 1997.
- [8] J. E. Gray, "MgO sacrificial layer for micro-machining uncooled Y-Ba-Cu-O IR microbolometers on Si3N4 Bridges", *IEEE J. of MEMS*, Vol. 8, p. 192, 1999.

서사약력

성명 : 문성욱

❖ 학력

- 1986년 연세대 금속공학과 공학사
- 1988년 연세대 대학원 금속공학과 공학석사
- 1994년 연세대 대학원 금속공학과 공학박사

❖ 경력

- 1989년 7월-1995년 6월
한국과학기술연구원 광센서연구실 연구원
- 1995년 7월-1996년 7월
영국 Rutherford 연구소 우주연구부 Millimetre Wave Technology Group (MMT) 방문연구원
- 1996년 8월-1997년 1월
영국 Rutherford 연구소 Central Micro structure Facility (CMF) 초청연구원
- 1997년 2월-현재
한국과학기술연구원 미래기술연구본부 마이크로시스템연구센터 Optical MEMS 연구팀 책임연구원

성명 : 김근태

❖ 학력

- 1997년 고려대 전자공학과 공학사
- 1999년 고려대 대학원 전자공학과 공학석사
- 현재 고려대 대학원 전자공학과 공학 박사 수료

❖ 경력

- 현재 한국과학기술연구원
마이크로시스템 연구센터 연구원

