

3차원 피드 혼 안테나 결합을 통한 볼로미터의 감지도 향상

김근태^a, 박종연^a, 문성욱^a, 박정호^b, 박종오^b
^a한국과학기술연구원 마이크로시스템센터, ^b고려대학교 전자공학과

Detectivity Improvement of Microbolometer by Coupling 3D Feed Horn Antenna

Kuntae Kim^a, Jongyeon Park^a, Sung Moon^a, Jung-ho Park^b, Jong-Oh Park^a

^aMicrosystem Research Center, KIST, ^bDepartment of Electronics Engineering, Korea Univ.

Abstract

본 논문에서는 3차원 feed horn 안테나를 볼로미터에 결합함으로써 감지도(Detectivity)를 향상시킨 비가시광 영상 감지 소자를 제안하였다. Feed horn 안테나의 우수한 지향성(Directivity)을 통해서 주위의 잡음 성분을 제거함으로써 감지도의 향상을 확인할 수 있었다. 안테나와 볼로미터와의 결합 손실을 줄이기 위해서 볼로미터의 흡수층의 모양을 원형의 형태로 하였으며 크기도 안테나 폭과 일치를 시켰다. 또한 열적 고립 구조를 만들기 위한 지지 다리의 모양도 원형의 형태로 하여서 전체 길이를 증가 시켰으며 이로 인해 열전도도(Thermal conductance)를 $4.65 \times 10^{-8} [W/K]$ 까지 낮출 수 있었다. 설계된 소자의 감지도는 $2.37 \times 10^9 [cm\sqrt{Hz}/W]$ 을 나타내었으며 안테나 결합을 통한 감지도의 향상을 확인할 수 있었다. 볼로미터의 제작은 MEMS 기술을 이용한 표면미세가공(Surface micromachining)법으로 열적 고립 구조체를 제작할 수 있으며 3차원 feed horn 안테나는 SU-8이라는 음성 감광제를 경사회전노광시켜서 제작할 수 있다.

태로 응용되는데 어려운 점이 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 있었다. 또한 소자의 크기를 줄임으로써 전체적인 소비 전력을 줄일 수 있으며 열 질량이 작아지므로 열시정수(thermal time constant)값이 작아지게 되어 고속의 영상 감지 소자에 사용되어 질 수 있다. 그림 1은 본 논문에서 제안된 3차원 feed horn 안테나 결합 영상 감지소자의 모식도이다.

1. 서 론

적외선 영상 감지 소자에는 감지 방식에 따라 크게 광자형 감지기(photon detector)와 열형 감지기(thermal detector)로 나눌 수 있다. 전자는 빛이 흡수되었을 때 생기는 잉여 전자 정공이 생성되어서 전도율이 변화되는 현상을 이용한 것이며 후자는 흡수된 빛의 열에너지가 흡수층의 온도를 변화시키고 이에 따라 저항이 변화하는 성질을 이용한 것이다. 광자형 감지기는 응답 속도가 빠르고 감지도가 뛰어난 반면 파장이 제한적이고 냉각 시스템이 필요한 단점이 있다. 반대로 열형 감지기는 성능 면에서는 광자형보다 떨어지지만 넓은 파장대에서 사용이 가능하고 냉각 시스템이 필요없고 가격이 싸서 산업용, 의료용 등에 폭넓게 이용되어지고 있다.

열형 감지기에는 크게 초전형(Pyroelectric) 감지기, 열전대형(thermocouple) 감지기, 볼로미터(bolometer)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 재료의 온도를 변화시키고 그에 따라 저항값이 변화하는 특성을 이용한 것이다. 볼로미터의 성능을 향상시키기 위한 방법으로는 높은 TCR(Temperature Coefficient Resistance)값을 가지는 재료의 개발과 열전도도(Thermal conductance)를 낮추는 열적고립구조(thermal isolation structure)의 제작과 빛을 효과적으로 흡수층에 모으는 방법이 있다. 위의 방법 가운데 빛을 효과적으로 모으기 위한 방법으로 안테나를 결합하는 방법이 있다. 현재까지 개발된 안테나 결합 볼로미터는 주로 2차원 형태의 안테나를 결합한 것이었다. 그러나 2차원 안테나를 결합함으로써 전체적인 소자의 크기가 증가함으로써 어레이 형

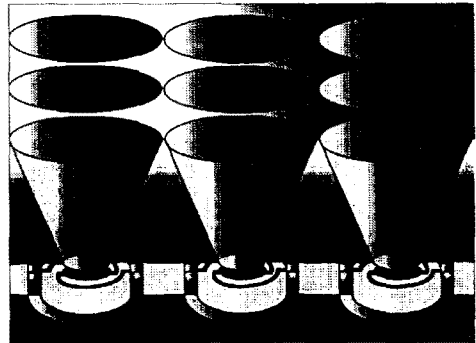


그림 1. Feed horn 안테나 결합 볼로미터의 모식도

2. 본 론

2.1 설계

설계된 안테나 결합 볼로미터의 전체 구조는 그림 2와 같으며 먼저 10 μ m 파장대에서 가장 우수한 지향성을 가지는 안테나를 설계하고 그에 따라 가장 우수한 감지도를 가지는 흡수층의 폭과 열적고립구조를 위한 지지다리의 길이를 결정하였다.

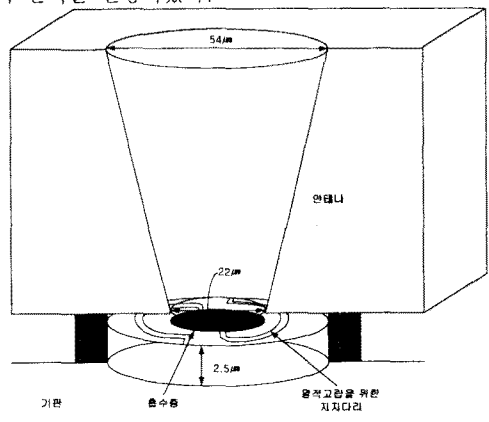


그림 2. 설계된 소자의 구조

2.1.1 안테나 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. 그림 3은 다음 식을 이용해서 설계된 안테나의 지향성을 simulation한 결과이고 20.8dB의 지향성을 가졌다.[6]

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

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

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

a : Radius of horn at the aperture

L(s):aperture efficiency에 대한 directivity의 loss

C : aperture circumference

s: maximum phase deviation

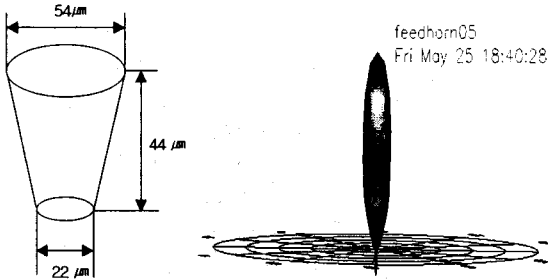


그림 3. Feed horn 안테나의 directivity

2.1.1 볼로미터 설계

볼로미터의 설계는 먼저 설계된 안테나의 폭과 흡수층의 폭을 22μm로 일치 시켜서 손실을 최대한 줄일 수 있도록 하였으며 열적고립구조를 위한 지지다리는 길이를 최대한 길게 할 수 있는 원형의 모양으로 하였으며 이때 145μm의 길이를 가졌다.

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.[7]

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

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

위의 두 식과 다음 식을 이용해서 소자의 Detectivity는 2.37×10^9 (cm√Hz/W)를 나타내었다. 여기서 잡음 성분은 안테나의 지향성을 통해서 background noise 성분은 무시하고 Johnson noise 성분만 고려해서 계산을 하였다.

$$D^* = \frac{\alpha R l \eta}{G \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \frac{\sqrt{A_d \Delta f}}{\sqrt{V_n^2}}$$

α (TCR): 0.02K⁻¹

R(소자 저항): 100K

η (흡수율): 0.9

I(bias current): 5μA

τ (thermal time constant): C/G=0.02s

$$\omega = 2\pi \times 30\text{Hz}$$

$$A_d(\text{흡수층 면적}): \pi \times 11\mu\text{m}^2$$

Noise 성분:

$$\frac{\sqrt{V_n^2}}{\sqrt{\Delta f}} = \sqrt{4kTR} = \sqrt{4 \times 0.0259 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^5}$$

$$= 40.7 \times 10^{-9} [V/\sqrt{\text{Hz}}]$$

2.2 제작 방법

볼로미터의 제작은 surface micromachining 방법을 이용해서 열적고립구조를 만들었으며 3차원 안테나의 제작은 음성 감광제를 평행광 노광기를 이용해서 경사회전노광을 시켜서 만들 수 있다. 만들어진 두 개의 소자를 결합함으로써 최종적인 안테나 결합 볼로미터를 제작할 수 있다.

2.2.1 볼로미터 제작

볼로미터 제작의 기본 공정은 그림 4와 같은 순서로 진행되어지며 표면미세가공법을 이용하게 된다. 먼저 회생층으로 polyimide를 패터닝하고 여기에 SiNx를 PECVD로 증착하고 RIE로 식각을 해서 지지다리를 형성 시켜준다. VOx를 Sputtering해서 흡수층을 만들어 주고 여기에 Cr을 증착하고 식각해서 신호 라인을 만들어 준다. 다시 SiNx를 증착해서 passivation을 시켜준다. 여기에 안테나를 결합하기 위한 지지대(space bar)를 만들어준다. 마지막으로 회생층을 asher로 제거하면 볼로미터가 완성되게 된다.[8]

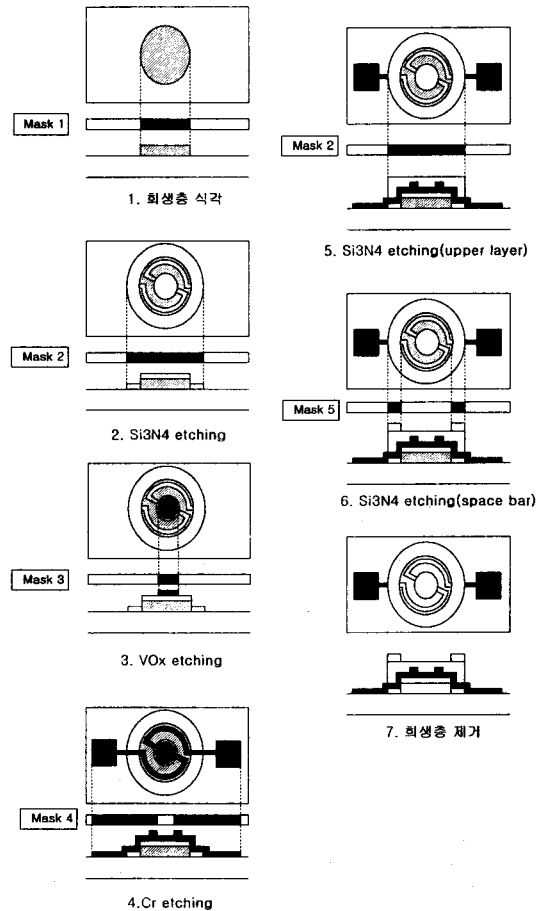


그림 4. 볼로미터 제작 공정 순서도

2.2.2 안테나 제작

3차원 안테나의 제작 방법은 먼저 seed layer를 증착하고 그 위에 음성 감광제를 경사회전노광을 시켜서 혼 모양의 구조체를 만들어 준다. 이것을 mold로 이용해서 electroplating을 하고 mold를 제거해주면 금속의 구조체가 만들어진다. 이것을 기판으로부터 분리해서 뒤집어내면 feed horn 안테나가 만들어지게 된다. [9] 그림 5에 안테나 제작 공정 순서도를 보여주고 있다.

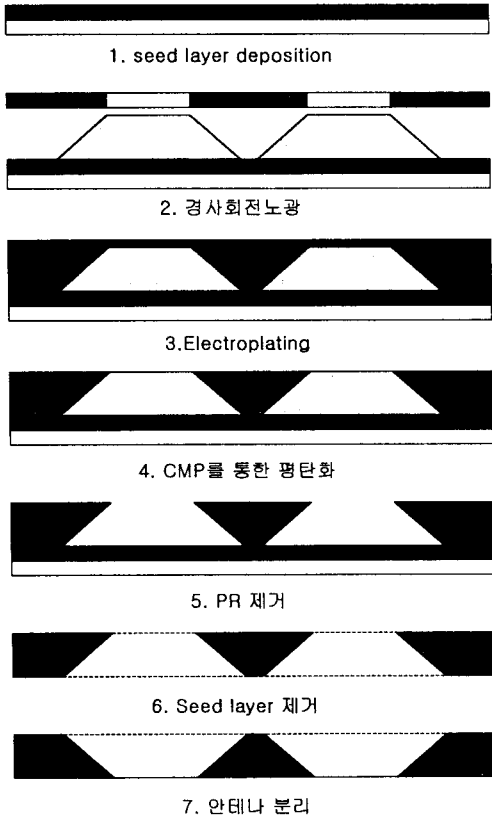


그림 5. 안테나 제작 공정 순서도

3. 결 론

지금까지 3차원 feed horn 안테나에 대한 simulation과 그에 따른 볼로미터의 설계를 완성하였다. 또한 Feed horn 안테나의 우수한 지향성을 이용해서 볼로미터의 잡음을 줄임으로써 감지도의 향상을 확인하였다.

표면미세가공 기술을 통한 볼로미터의 제작과 평행광 노광기를 이용한 경사회전노광 기술을 이용해서 3차원 안테나를 제작할 수 있음을 확인하였다.

앞으로 제작된 안테나와 볼로미터를 결합하고 어레이 형태의 제작을 통해서 비가시광 영상을 검출하는 연구를 계속해야 할 것으로 본다.

(참 고 문 헌)

[1] Paul W. Kruse, "Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems", Semiconductors and Semimetals, vol.47, 1997
 [2] B.E. Cole, "Monolithic Two-Dimensional Arrays of Micromachined Microstructures for Infrared Applications", Proceedings of the IEEE, vol.86, p.1679, 1998

[3] Herbert Jerominek, "Micromachined, uncooled, VO₂-based, IR bolometer arrays", SPIE, vol.2746, p.60, 1996
 [4] Paul W. Kruse, "Uncooled Infrared Focal Plane Arrays", IEEE, p.643, 1995
 [5] I.A. Khrebtov, "Uncooled thermal IR detector arrays", J. Opt. Technology, vol.64, p.511, 1997
 [6] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory: analysis and design", p.695, 1997
 [7] John E. Gray, "MgO Sacrificial Layer for Micromachining Uncooled Y-Ba-Cu-O IR Microbolometers on Si₃N₄ Bridges", IEEE J. of MEMS, vol.8, p.192, 1999
 [8] 강호관, "마이크로볼로미터의 열적 고립구조 제작에 관한 연구", 새물리, vol.41, p.243, 2000
 [9] 문성욱, "THz 대역 Horn형 안테나의 제조", 대한 전기학회 추계부문학술대회논문집, p.581, 2000