

**MRPBI를 이용한 3D Feed Horn Shape MEMS Antenna Array의 제조**

박종연<sup>a</sup>, 김근태<sup>a</sup>, 문성욱<sup>a</sup>, 박정호<sup>b</sup>, 박종오<sup>a</sup>  
 한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터<sup>a</sup>, 고려대학교 전기공학과의<sup>b</sup>

**Fabrication Method of 3D Feed Horn Shape MEMS Antenna Array Using MRPBI(Mirror Reflected Parallel Beam Illuminator) with Inclined X-Y-Z Stage**

Jong-Yeon Park<sup>a</sup>, Kuntae Kim<sup>a</sup>, Sung Moon<sup>a</sup>, Jungho Pak<sup>b</sup>, Jong-Oh Park<sup>a</sup>  
 KIST, Microsystem Research Center<sup>a</sup>, Dept of Electrical Engineering, Korea Univ<sup>b</sup>.

**Abstract** 3D Feed Horn Shape MEMS Antenna Array는 적외선 이미지 소자 또는 Tera hertz band 등에서 많은 응용을 할 수 있는 장점을 가진 MEMS 구조체이다. 하지만 일반적인 MEMS 공정을 이용해서 3D Feed Horn Shape MEMS antenna array를 구현하기는 적합하지 않았다.

본 논문에서는 마스크와 웨이퍼가 일체 된 형태의 경사된 척이 초 저속으로 회전하면서 노광을 할 수 있는 새로운 방식과 미리 반사구조를 이용해서 평행광을 얻을수 있는 노광장치 (MRPBI: Mirror Reflected Parallel Beam Illuminator) System 제작방법을 제안하였다.

3D Feed Horn Shape MEMS Antenna의 구조적인 high aspect ratio의 특성에 의해서 SU-8과 PMER Negative Photo resist를 이용한 기본적인 실험을 통해 3D 구조체의 구현 가능성을 증명하였다.

또한 Microbolometer의 성능향상을 위한 이론적인 3D MEMS Antenna Model들을 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용해서 그 최적구조를 제안하고 3D MEMS Antenna Gain 값을 비교 분석하였다.

**1. 서 론**

Tera Hertz 영역에서 사용되는 비가시광 이미지소자의 성능을 향상 시킬수 있는 새로운 방식인 3차원 MEMS 안테나를 일체화하는 제안은 이론적으로 타당성이 있으나 현재의 일반적인 MEMS 공정으로는 지금까지 연구되어온 3D MEMS 안테나의 독특한 구조상의 형태로 인해서 제조 기술면에서 실현하기가 어려운 단점이 있었다. 본 논문에서는 지금까지의 노광방식 과는 다른 새로운 노광 방식인 MRPBI(Mirror Reflected Parallel Beam Illuminator)System을 이용한 노광 방식으로 3차원 MEMS 안테나를 제작하는 방법에 대해 제시한다.

**2. 본 론**

**2.1 3D Feed Horn Shape MEMS Antenna 접합 비가시광 이미지 소자의 구조**

본 논문에서 제안하는 3차원 Feed Horn MEMS 안테나와 접합하는 비가시광 이미지 소자 어레이의 대략적인 구조를 그림1과 같이 나타내었다.

그림1에서 보면 비가시광 이미지의 소자 어레이의 상부에 3차원 Feed Horn 형태의 MEMS 안테나 어레이가 접합을 하게 된다.

3차원 안테나 접합형 비가시광 이미지 소자의 장점은 안테나의 지향성에 의한 각 소자에 흡수되어지는 광의 Cross Talk를 방지하여 신호대 잡음비(S/N)을 상승시키며 비가시광 이미지소자의 크기가 작아짐으로 인한 Thermal Mass가 줄어들게 되며 이미지 소자의 Time Constant가 감소되어 결론적으로 비가시광에 반응하는

속도의 향상을 가져온다. 또한 이미지소자의 소형화는 전체적인 전력소모를 줄이게 된다.

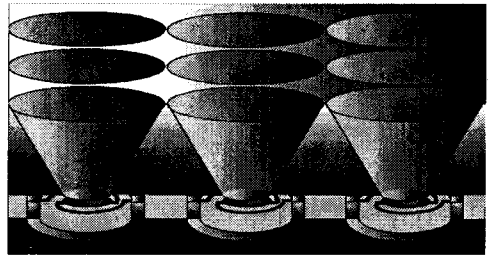


그림1. 3D Feed Horn MEMS Antenna Array와 접합된 형태의 Invisible Image Device Array

**2.1.1 비가시광 이미지 소자 접합용 3D MEMS Antenna의 HFSS Simulation**

HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용해서 비가시광 이미지 소자 접합용 3D MEMS 안테나의 3가지 형태인 Cylinder Antenna, Conical Horn Antenna, Feed Horn Antenna의 Directivity와 안테나의 Gain을 Simulation 한 결과를 그림2.1,2.2,2.3에 각각 나타내었다.

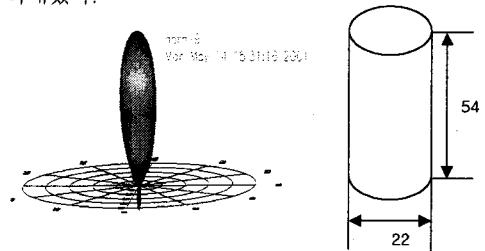


그림2.1 3D Cylinder Antenna Simulation

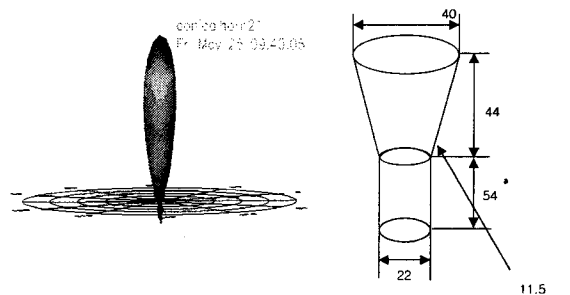


그림2.2 3D Conical Horn Antenna Simulation

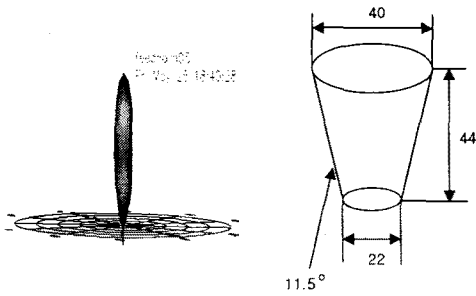


그림2.3 3D Feed Horn Antenna Simulation

### 2.1.2 3D MEMS Antenna의 성능비교

비가시광 이미지소자어레이와 집합하여 전체성능을 향상 시킬수 있는 3D 안테나형태별 Gain과 Directivity를 비교한 결과 Feed Horn 형태의 안테나가 가장 우수한 특성을 나타내고 있음을 그림2.4에 나타내었다. Feed Horn 형태의 안테나는 Conical Horn 안테나 보다 MEMS 공정상에서도 제조가 용이한 점이 있다.

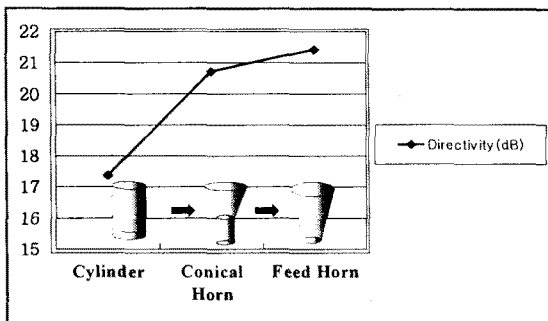


그림2.4 3D MEMS Antenna Directivity 비교

## 2.2 MRPBI(Mirror Reflected Parallel Beam Illuminator) System의 구성

일반적으로 MEMS Device를 제작하기 위한 노광장비의 적은 수평구조를 띄고 있다. 또한 수평 구조적 형태의 노광기의 적은 혼 모양의 3차원 미소구조 안테나를 제작하기엔 어려운 단점이 있었다. 본 연구에서는 Feed Horn 모양의 3D MEMS 안테나를 제작하기 위해서 마스크와 웨이퍼가 결합된 칩을 경사된 상태에서 초 저속 회전을 하면서 노광하는 노광방식을 제안하였다. High Aspect Ratio 구조물을 제조하기 위해서 반드시 요구되어지는 평행광을 유도하기 위해서 계산된 노광기의 형태는 비교적 높은 수직 경통구조를 띄게 되는 단점을 가지고 있다. 따라서 보편적인 실험장소에서는 평행광을 얻기 위한 특수구조의 노광기를 설치하기에는 장소적인 문제가 존재한다. 하지만 미러 반사를 이용하여 수평구조형 경통 구현을 통한 노광기 크기의 축소 제작 방법에 관한 것을 제시한다. 그림2.6은 기존 노광기의 실험에서 평행광의 유도가 어려운 것을 증명하는 것을 나타내고 있다. 그림2.5는 MRPBI의 전체시스템의 개요도를 나타낸다.MRPBI System의 회전축은 Manual

Type과 PC Control방식을 채택하여 실험Exposure Time과 척의 Rotation Time을 변경하고 Mask와 Wafer의 고정은 회전을 하면서 그 자체가 고정해 주는 역할을 척이 해야 되기 때문에 2-Way Vacuum Fix방식을 하였고 Vacuum Contact Force를 조절 가능하도록 System을 구현하였다. 또한 실험상의 이유로 평행광의 Radiation Intensity를 조절 할 수 있게 설계되었다.

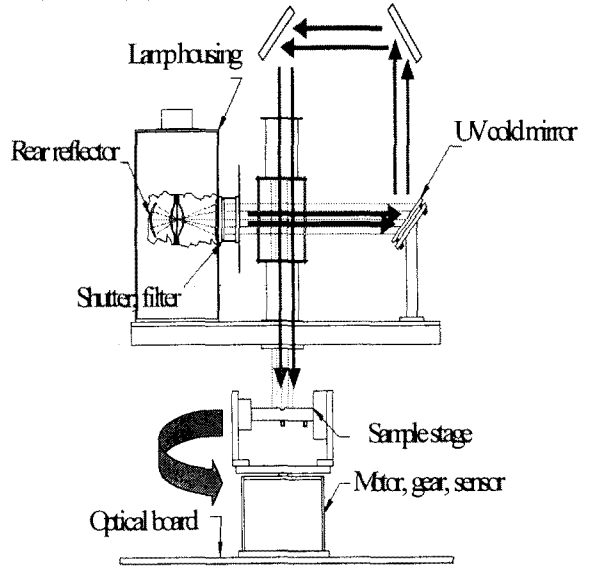


그림2.5 MRPBI System의 전체개요도

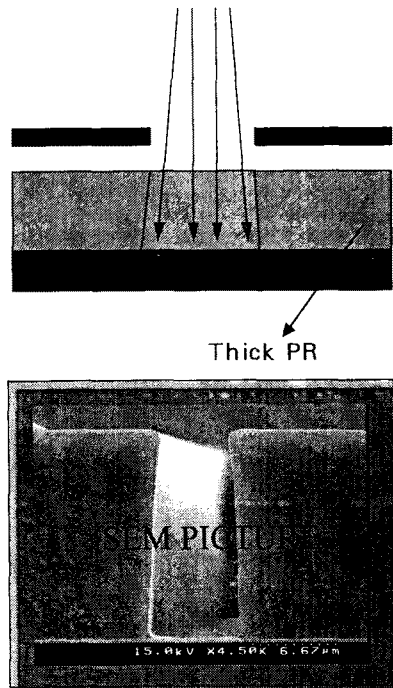


그림2.6 기존 노광기의 노광현상개요도와 PR실험결과

### 2.2.1. MRPBI System을 이용한 비가시광 이미지 소자 집합용 3D Feed Horn Antenna 제조공정

MRPBI의 평행광을 이용한 3D Feed Horn MEMS Antenna의 제조공정을 그림 2.7에 나타내었다. 그 공정도를 살펴보면 첫째 Seed Layer를 증착을 하고 둘째 MRPBI System의 척 부분이 경사 된 상태에서 회전을 하면서 Exposure를 하게 된다. 셋째 Electroplating 공정을 하게 되며 넷째 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 하고 다섯째 Photo Resist를 제거 하고 여섯째 Seed Layer를 제거한다 마지막으로 Seed Layer를 제거하고 난 후의 Metal구조물이 비가시광 이미지소자에 집합하게 될 3D MEMS Antenna로서 완성되는 단계이다.

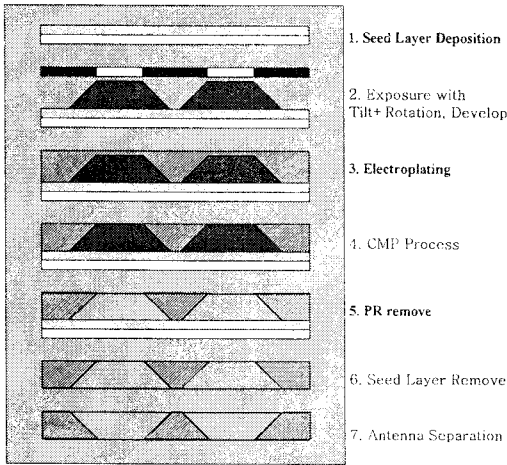


그림2.7 3D Feed Horn MEMS Antenna Process

### 2.2.2. MRPBI System을 이용한 Negative Photo Resist Patterning 실험

MRPBI System을 이용해서 Negative Photo Resist인 PMER과 SU-8의 실험결과를 그림 2.8과 그림 2.9에 각각 나타내었다. 그림 2.8의 SU-8 어레이 구조체는 90 $\mu$ m의 수직한 구조형태를 나타내고 있다.

그림 2.9의 PMER 어레이 구조체는 20°의 척의 경사도를 갖는 노광 실험을 한 결과를 SEM 촬영한 것이다. 전체적인 구조체 어레이가 수직한 구조가 아닌 경사를 띄고 있는 모습을 볼 수 있다. 실험과정은 2Step Spin Coating(500rpm/s,600rpm/s)이며 Stabilization은 5min이며 PreBake의 Temp/Time은 110 $^{\circ}$ C/25min이고 PEB(Post Exposure Bake)는 100 $^{\circ}$ C/15min이다. 이 실험에서 가장 중요한 Exposure Time은 1800sec로 하였다. Develop단계는 상용화 되어있는 현상액을 사용했으며 SU-8의 경우는 깨끗한 패턴을 얻기위해서 IPA(IsoPropAnol) 한 단계를 더 추가적으로 했으며 최종적으로 DI(Distilled) Water로 Cleaning 하는 과정을 채택하였다.

365nm의 UV(Ultra-Violet) Source 전체 Intensity는 0.7mW/cm $^2$ 로 고정을 하였다.

본 실험에서는 Intensity가 일정이상 많이 올라 갈수록 PR 구조체의 Develop 결과가 좋지 않았음을 알 수 있었다.

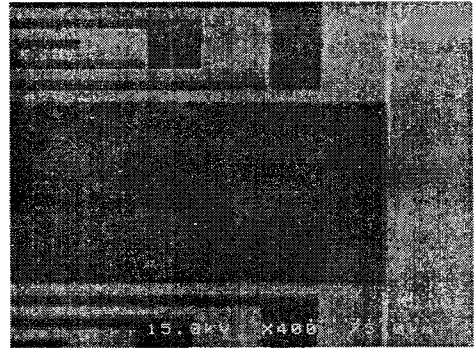
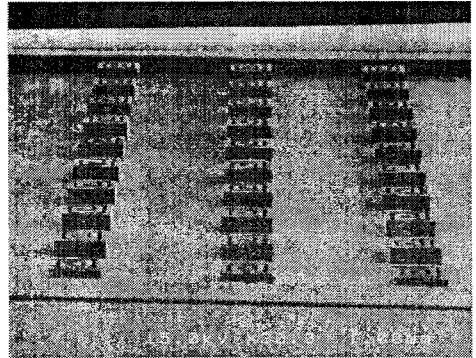


그림2.8 Negative Photo Resist SU-8

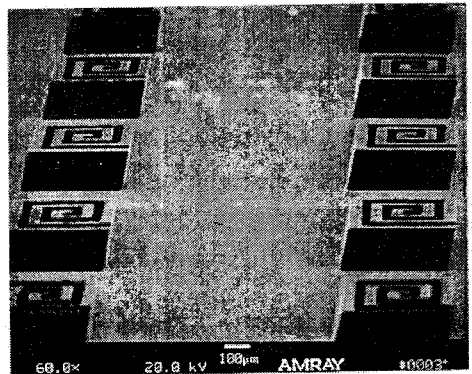
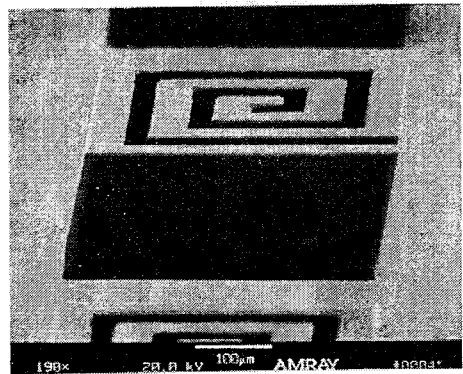


그림2.9 Negative Photo Resist PMER

### 3. 결 론

기존의 Lithography공정장비 노광방식으로는 수직한 High Aspect Ratio를 얻기 위한 평행광을 구현하기 힘든 점이 많이 있었다. 본 논문에서는 미러반사구조를 가진 MRPBI System을 이용한 평행광 노광방식을 제안하였고 비가시광 이미지소자 어레이의 성능향상을 위해 3D MEMS 안테나 에레이를 제조하는 방안을 제시하였다. 또한 여러 가지의 3D MEMS 안테나 형태중에서 더욱 효과적인 안테나의 성능을 검증 할수 있는 안테나소자자체의 Simulation을 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 이용해서 전체적인 안테나 Gain과 Directivity의 비교분석 하였다. 결론적으로 비가시광 이미지소자의 성능향상을 위해서는 3D Feed Horn MEMS Antenna가 효과적이라는 결론을 내렸으며 그 제작 공정에 대한 방법을 제안하고 최종적으로 본 연구의 핵심이라고 할 수 있는 3D Feed Horn Antenna제작의 선행단계라 할 수 있는 PR의 경사도를 실험적으로 결과를 확인 했기 때문에 지금까지의 MEMS 공정 기술상의 문제해결 방향을 제시했으며 앞으로 3D MEMS Antenna의 최종 완성을 입증할 예정이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] E. L. Dereniak "Infrared detectors and systems", John Wiley & Sons, Inc. 1994
- [2] Paul W. Kruse, David D. Skatrud "Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems" Semiconductor and Semimetals, Vol. 47, Academic press, 1997
- [3] M. A. Gallo, D. S. Willits, R. A. Lubke, E. C. Thiede " Low cost uncooled IR sensor for battlefield surveillance ", SPIE Vol. 2020 Infrared Technology, pp. 351- 362, 1993
- [4] Raul W. Kruse, " Uncooled IR Focal Plane Arrays ", SPIE Vol. 2552 Infrared Technology, pp. 556- 572, 1995
- [5] N. Butler, R. Blackwell, R. Murphy, R. Silva and C. Marshall, " Low Cost Uncooled Microbolometer Imaging System for Dual Use ", SPIE Vol. 2552 Infrared Technology, pp. 583- 590, 1995
- [6] K. C. Liddiard, " Thin film monolithic detector arrays for uncooled thermal imaging ", SPIE Vol. 1969 Infrared Technology, pp. 206- 216, 1993
- [7] I. A. Khrebtov and V. G. Malyarov "Uncooled thermal IR detector arrays", J. Opt. Technol. 64(6), pp. 511 - 522, 1997
- [8] 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, pp. 1211 - 1220, 1998
- [9] R. A. Wood, " Uncooled thermal imaging with monolithic silicon focal plane ", SPIE Vol. 2020 Infrared Technology, pp. 322- 329, 1993
- [10] Peter L. Marasco and Eustace L. Dereniak, " Uncooled Infrared Sensor Performance ", SPIE Vol. 2020 Infrared Technology, pp. 363- 378, 1993
- [11] Hubert Jerominek, Timothy D. Pope, Christine Alain, Rose Zhang, " 128×128 pixel uncooled bolometric FPA for IR detection and imaging ", SPIE Vol. 3436, pp. 585- 592, 1998
- [12] A. Rogalski, "Infrared Detector", GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, PP105-167 2000
- [13] A.P. Gruzdeva, V. Yu. Zerov, O. P. Konovalova, Yu. V. Kulikov "Bolometric and noise properties of

- elements for uncooled IR arrays based on vanadium dioxide films" J. Opt. Technol. 64(12), pp. 272 - 280, 1997
- [14] V.A. Kuznetsov and D. Haneman " High Temperature coefficient of resistance in vanadium oxide diodes ", Rev. Sci. Instrum. 68(3), pp. 1518 - 1520, 1997
- [15] E.E. Chain, "The influence of deposition temperature on the structure and optical properties of vanadium oxide films", J. Vac. Sci. Technol. A 4(3), pp. 432 - 435, 1985
- [16] C. H. Griffiths and H. K. Eastwood " Influence of stoichiometry on the metal semiconductor transition in vanadium dioxide", J. Appl. Phys. Vol. 45, No. 5, pp. 2201- 2206, 1974