

초소형 렌즈 배열의 제작에 관한 연구

문성욱*, 김희연*

The Fabrication of Microlens Array

Sung Moon*, Hee youn Kim*

요 약

본 연구에서는 HNA를 이용한 Si의 bulk 식각을 통해 렌즈 모양을 갖는 몰드를 제작 한 뒤 그 위에 렌즈로 사용될 SU-8을 도포 한 다음 몰드와 렌즈를 분리시키는 방법으로 마이크로렌즈 배열을 제조하는 공정을 개발하였으며 이는 공정순서가 단순하며 경제적인 것을 특징으로 한다. Stirring 속도 800rpm 이상의 조건에서 높이 45 μ m, 직경 150 μ m의 높은 fill factor를 가지는 렌즈의 제작 조건을 확립하였으며, 이와 같이 제작된 초소형 렌즈는 적외선 감지 소자와 같은 영상 소자나 projection display 영역에 응용되어 소자 성능을 향상시킬 수 있다.

Abstract

In this study, we fabricated the microlens array using very simple and economical method which used Si molds made by bulk etching in HNA and spreaded SU-8 on top of the Si mold. And, we developed fabrication conditions for high fill factor microlens array that is 45 μ m in height and 150 μ m in diameter. This microlens array can be used for imaging system like IR detector or projection display. It is expected that it can improve the characteristics of these devices.

1. 서 론

최근 MEMS 제작 기술의 발전으로 이를 이용한 초소형 렌즈의 제작이 가능해짐에 따라 적외선 감지 소자나 display 분야에 사용되는 초소형 렌즈를 MEMS 기술을 이용하여 제작할 수 있게 되었다.

그림 1에 나타난 것과 같이 초소형 렌즈가 적외선 감지 소자에 응용될 경우 감지기를 벗어난 적외선을 굴절시켜 소자로 보내줌으로서 감지도를 향상시키며, projection display에서 화질과 휘도를 높이는데 사용할 수 있다. 보고된 바에 의하면 적외선 감지 소자에 Ge 초소형 렌즈를 사용할 경우 4배, Si 초소형 렌즈는 3.4배의

감지 능력에 향상을 보였다.^{(1),(2)}

일반적으로 적외선 감지 소자에 사용되는 마이크로 렌즈 배열의 경우 적외선 투과율이 높은 Ge나 Si를 사용하여 제작하고, 그 외에 디스플레이용으로 사용되는 경우 SOG나 여러 가지 폴리머 계열의 물질을 이용하기도 하며, 이들 렌즈를 구성하는 각각의 물질에 따라 제작 방법에도 차이를 보인다.

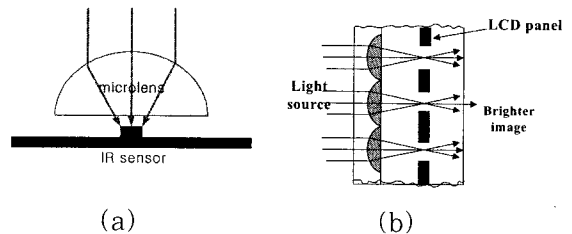


그림 1. 초소형 렌즈의 사용 (a) 적외선 감지 소자에 응용 (b) TFT-LCD에 응용.

Fig. 1. Application of Microlens (a) Infrared Imager system (b) TFT-LCD.

* 한국과학기술연구원, 마이크로시스템 연구센터(Microsystem Research Center, KIST)
<접수일자 : 2001년 4월 6일>

지금까지 고안된 초소형 렌즈를 제작하는 방법 중에서 가장 일반적인 방법은 그림 2에서의 같이 reflow를 이용하는 방법이며 주로 폴리머 계열의 물질을 사용해 제작할 때 이용한다. 만약, Si와 같은 반도체 물질처럼 자체적으로 reflow가 불가능한 물질을 이용하게 되면 여기에 식각 공정을 추가하여 사용한다. 기판 위에 reflow가 가능한 물질을 이용해 패턴을 만들고 이를 reflow해서 렌즈모양을 만든 뒤 RIE로 렌즈형태를 기판으로 전사시킨다.

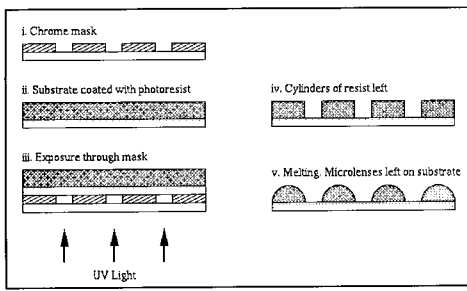


그림 2. reflow 방법을 이용한 렌즈 제작 방법.
 Fig. 2. Fabrication of micro lens array using reflow method.

그러나 이러한 방법은 제작된 렌즈의 우수한 특성과는 별개로 제작과정이 장시간에 걸쳐 진행되는 등 현실적인 도입에 몇 가지 어려움을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 다른 제작공정에 비해 매우 경제적인 뿐만 아니라 순서도 간단하며 특히, 렌즈의 배열 구조를 만들 때 효과적인 bulk 식각을 이용하여 초소형 렌즈배열 제작 기술을 개발하였으며 높은 fill factor를 확보하는 조건을 확립하였다. 렌즈 모양의 틀을 만들어 그 위에 렌즈로 사용될 물질을 도포 한 뒤 분리시키는 일종의 프레스 성형 기법^[3]을 이용하였으며 식각 조건을 변화시켜 fill factor를 높일 수 있었다.

2. 실험 방법

렌즈의 제작으로 들어가기 전에 렌즈의 사용이 실제 디스플레이 시스템에서 어느 정도의 효과를 나타낼 수 있는지 알기 위해 간단한 시뮬레이션을 실행해 보았다. 사용된 시뮬레이션 program은

trace pro라는 조명 시뮬레이션 program을 사용하였다.

그림 3은 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 진행된 실험에 사용될 렌즈 배열의 제작 공정을 나타낸다.

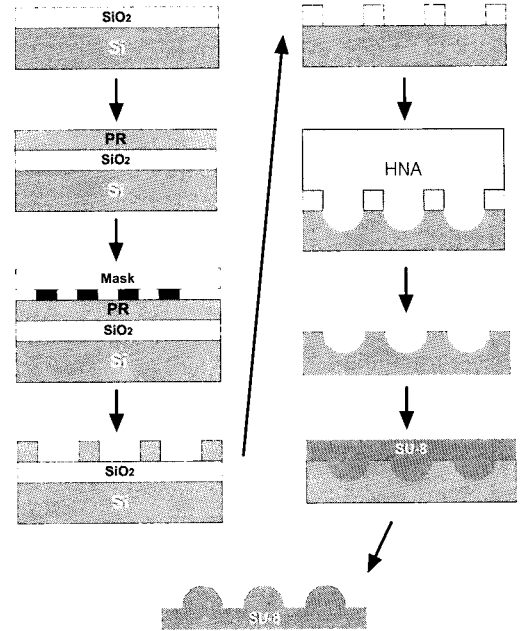


그림 3. 초소형 렌즈의 제작 공정.
 Fig. 3. Fabrication process for micro lens array.

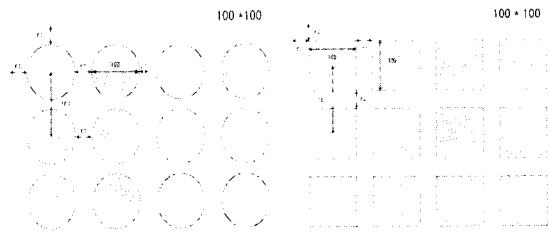


그림 4. 마스크 패턴.
 Fig. 4. Mask Pattern.

실험에 사용된 렌즈용 물질은 빛에 대해 높은 투과성을 가지고 있는 것으로 알려진 SU-8을 사용하였다. 렌즈 형상을 만들 몰드는 렌즈 형태를 만드는데 용이해야 하므로 식각 특성이 체계적으로 정립된 것이 좋다. Si은 식각 특성이 잘 알려진 물질이므로 렌즈의 몰드로 제작하는데 가장 좋은 조건을 가진다.

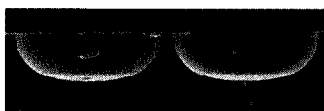
1100℃에서 6시간 동안 습식 방법으로 성장시킨 1.5μm 높이의 산화막을 마스크로 사용되었으며 마스크 패턴은 그림 4와 같이 원형과 사각형으로 제작하였다.

사각형의 경우 한 변의 길이가 100μm이고 60μm의 간격으로 배치되었으며 원형도 마찬가지로 직경이 100μm, 60μm의 간격을 갖고 있으며 각각 100×100의 배열을 이룬다.

Si를 식각 하기 위해 HNA를 사용하였는데 HNA는 등방성이 강한 식각액으로 HF와 HNO₃, CH₃COOH 또는 D.I.W.를 섞어 만든 용액이다. HNA는 섞인 비율에 따라 식각 특성에 차이를 나타내며, 식각이 진행되는 동안 stirring 조건의 값에 따라 식각 단면이 크게 달라진다. Stirring이 식각이 진행되는 동안 병행될 경우 그림 5의 (b)와 같이 원형을 이루지만 그렇지 못했을 경우 그림 5의 (a)와 같은 단면을 나타내게 된다.^[4]

표 1. HNA의 혼합 비율에 따른 식각특성
Table. 1. Etching properties with HNA ratio

Etchant	HF	HNO ₃	CH ₃ COOH	Etch rate (μm/min)
	10	30	80	0.7-3.0
	25	50	25	4.0
	9	75	30	7.0
general etching	2	15	5	
fast polishing	3	5	3	34.8
low etch-rate	1	40	15	
	1	3	10	
polishing	1	9		



(a)without stirring



(b)with stirring

그림 5. HNA의 등방성 식각.
Fig. 5. Isotropic Etching using HNA.

실험에 사용된 HNA 용액은 HF+HNO₃+CH₃COOH의 혼합비율은 1 : 2 : 3.2 로 혼합하였으며, stirring의 속도는 0에서부터 1200rpm 까지 200rpm 간격으로 증가시키면서 변화를 관찰하였다.

3. 결 과

A. Simulation

그림 6의 (a)와 (b)는 각각 초소형 렌즈를 장착하지 않은 TFT-LCD의 구조와 simulation결과를 나타내고있으며 (c)와 (d)는 초소형 렌즈가 삽입된 시스템의 결과를 나타낸다.

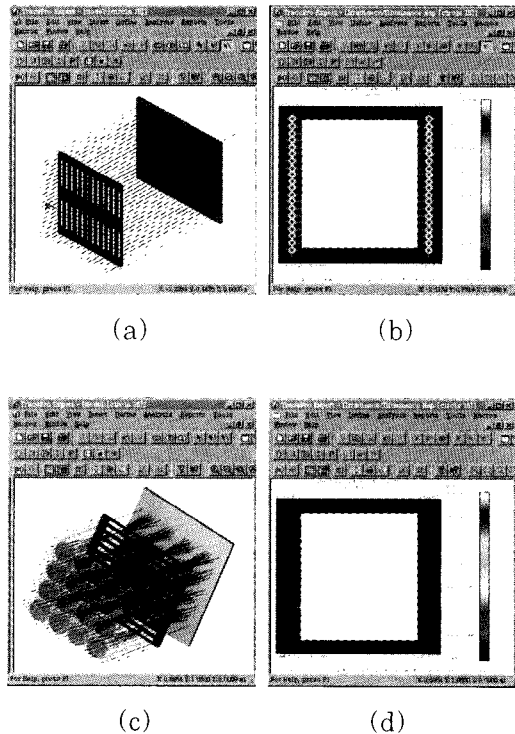


그림 6. Trace pro simulation 결과.
Fig. 6. Result of Trace pro simulation.

렌즈가 장착된 경우 같은 거리에서 받아들여지는 빛의 양이 늘어난 것을 관찰할 수가 있다. 그림 6의 (b)와 (d)를 비교해 보면 (b)에서 점선 바깥쪽에 위치해서 흡수되지 못한 빛이 (d)에서 보면 모두 점선 안쪽으로 들어온 것을 볼 수 있

다. 이는 TFT-LCD에서의 초소형 렌즈가 배면 광의 투과 효율을 높여주는 것을 알 수가 있다.

B. Stirring의 속도에 따른 식각 특성

그림 7에서 그래프 (a)는 수직방향의 식각률을, 그래프 (b)는 수평방향으로의 식각률을 stirring 속도 변화에 따라 나타낸 것이다. 수직 방향의 식각률이 stirring 속도 변화에 따라 식각률에 거의 변화가 없지만 수평 식각률은 400rpm~600rpm 사이에서 변화를 보이고 있으며 그 이후에 변화율이 둔화되는 것을 볼 수 있다.

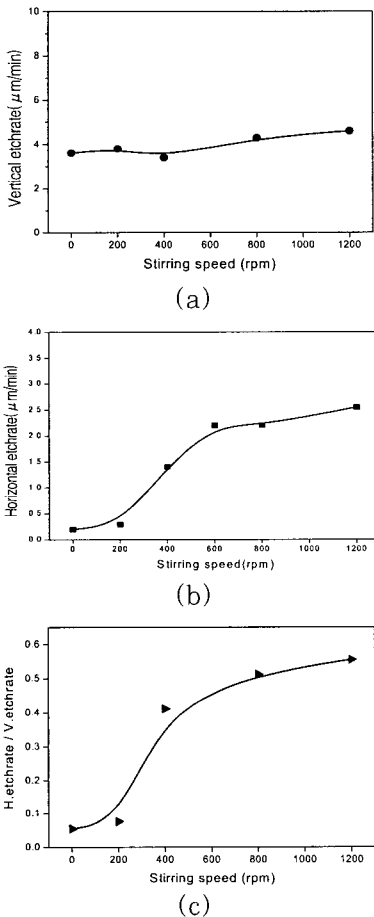


그림 7. Stirring 속도에 따른 (a)수직 식각률(b)수평 식각률 (c)수직과 수평 식각률의 비.

Fig. 7. (a) Vertical etching rate (b) Horizontal etching rate, (c) Ratio of vertical and horizontal etching rate with different stirring speed.

그림 7. (c)는 두 방향의 식각률을 비로 나타낸 것으로 stirring 속도 600rpm부터는 그 비가 일정해져 수평방향의 그래프와 비슷한 경향을 보이고 있다.

그림 8은 서로 다른 stirring 조건에서 만들어진 렌즈의 단면도이다. (a)는 stirring 속도가 비교적 낮은 400rpm에서 제작된 렌즈이고 (b)는 800rpm에서 제작된 렌즈다. (a)의 단면은 렌즈의 모양이 원형을 이루지 못하고 있는데 반해 (b)는 완전한 원형을 이루고 있다.

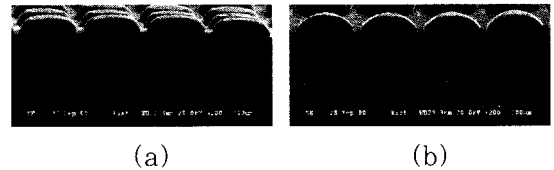


그림 8. 다른 stirring 속도에 따른 렌즈 단면도.

Fig. 8. Cross section of MLA with different stirring speed.

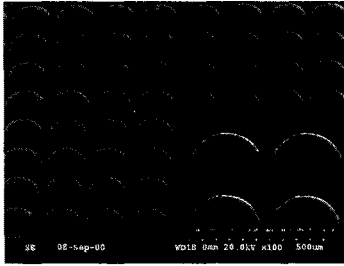
HNA에 대한 Si의 수직 방향으로의 식각률은 거의 일정한 값을 갖는다. 그러나 수평 방향의 식각률은 stirring의 속력이 달라지면 그 값이 달라진다.

따라서 양방향의 식각률의 비 또한 수평방향의 식각률을 나타내는 그래프와 비슷한 경향을 나타내게 된다. 이론적으로 양방향의 비가 1이 되면 수직과 수평방향의 식각률이 같아져 완전한 구형을 이루며 식각이 진행된다. 그러나 수평 식각은 식각의 진행방향과 식각 용액의 진행방향이 임의의 각을 이루고 있으며, 식각이 진행되면서 생기는 식각 잔여물의 제거가 수직 식각에 비해 상대적으로 느리기 때문에 식각률에 한계를 갖는다. 하지만, 렌즈의 형태가 제작되기 위해서 그림 7의 (c) 그래프에서 확인 할 수 있듯이 0.5이상의 비를 가지면 렌즈곡면을 제작하는데 무리가 없는 것으로 나타났다. 이것은 그림 8의 단면 SEM으로 확인 할 수 있다. 따라서 이후에 진행된 실험은 stirring의 rpm속도의 범위를 800rpm이상에서 행하였다.

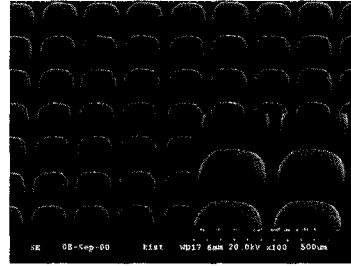
C. 800rpm와 1200rpm에서 초소형 렌즈배열

그림 9는 800rpm과 1200rpm에서 제작된 초소형 렌즈 배열을 SEM으로 찍은 결과다.

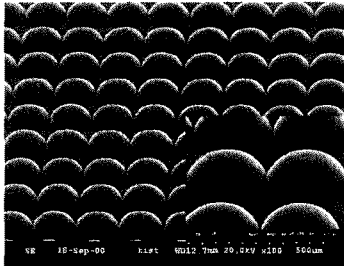
각각의 렌즈의 높이와 직경은 각각 43μm와 45



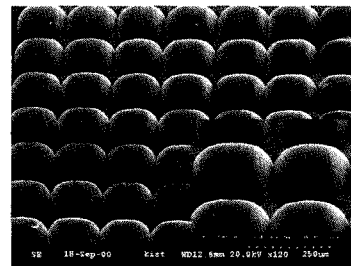
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 9. (a) 800 rpm 에서의 초소형 렌즈 배열
(b) 1200 rpm에서의 초소형 렌즈 배열.

Fig. 9. (a) MLA with 800 rpm and
(b) MLA with 1200 rpm.

μm , $144\mu\text{m}$ 와 $151\mu\text{m}$ 이다.

렌즈를 좀 더 고배율로 보면 800 rpm일 때보다 1200rpm에서 제작된 렌즈간의 간격이 더 가까워진 것을 알 수 있다. 이는 stirring 속도가 증가하면 수평방향의 식각률이 증가된다는 것을 보여주고 있다.

Stirring 속도가 높아짐에 따라 렌즈의 직경이 달라지는 것은 렌즈의 간격이 가까워지면 서 그만큼 fill factor를 높일 수 있다는 점에서 큰 의미를 갖는다.

D. 사각형 초소형 렌즈 배열

렌즈 간격뿐만 아니라 패턴의 구조도 렌즈의 fill factor에 관련되어 있다. 패턴의 구조상 초소형 렌즈 배열은 사각형의 초소형 렌즈 배열구조가 fill factor를 높이는 구조가 된다. 계산상으로 렌즈간에 같은 간격을 가지고 있다면 사각형의 렌즈 배열이 원형의 렌즈 배열에 비해 2% 이상 높은 fill factor를 갖는 것으로 계산되었다.

그림 10. 사각형 초소형 렌즈 배열.

(a) 800 rpm에서의 사각형 초소형 렌즈 배열.
(b) 1200 rpm에서의 사각형 초소형 렌즈 배열.

Fig. 10. Rectangular shape MLA.

(a) Rectangular shape MLA with 800 rpm.
(b) Rectangular shape MLA with 1200rpm.

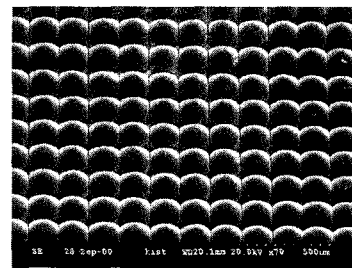


그림 11. 높은 fill factor를 갖는 사각형 초소형 렌즈 배열.

Fig. 11. Rectangular shape MLA with high fill factor.

그림 10은 사각형으로 제작 된 초소형 렌즈 배열이다. 그림 10. (a)는 800 rpm에서, (b)는 1200 rpm에서 제작되었으며 두 가지 경우 모두 렌즈 형태의 곡면을 나타내는 것을 볼 수 있다.

여기서도 주목할 것은 stirring의 속도가 증가할수록 렌즈간의 간격이 좁혀지는 것을 볼 수 있다. 그러므로, 사각형 렌즈 배열 구조에서 stirring 속도를 조절하여 fill factor가 높은 초소형 렌즈배열 구조를 제작할 수 있다.

그림 11은 이러한 두 가지 결과를 바탕으로 제작한 사각형 초소형 렌즈 배열이다. 그림에서 알 수 있듯이 이 사각형, 초소형 렌즈 배열은 렌즈 사이의 간격이 거의 없어 fill factor가 매우 높을 것으로 예상되며 매우 우수한 렌즈 특성을 가질 것으로 보인다. 그림 12는 조건이 각각 800 rpm, 1200 rpm 그리고 원형일 때와 사각형일 때의 초소형 렌즈의 크기와 모양을 나타낸다.

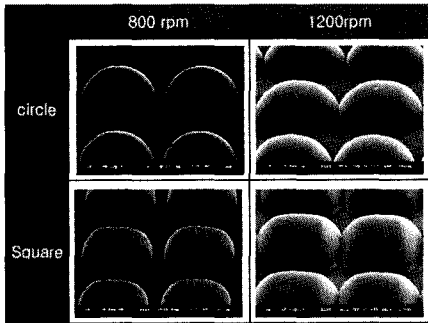


그림 12. 초소형 렌즈의 제작조건에 따른 크기와 모양.

Fig. 12. Size and shape of MLA fabrication by different condition.

4. 결 론

본 실험에서는 bulk 식각 공정과 SU-8을 이용하여 비교적 단순하며 경제적으로 초소형 렌즈 배열을 제작하는 공정을 개발하였다.

HNA를 이용해 Si의 bulk 식각을 통해 렌즈

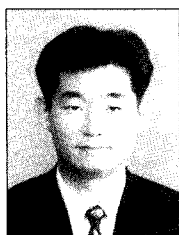
모양을 갖는 몰드를 제작 한 뒤 그 위에 렌즈로 사용될 SU-8을 도포 한 다음 몰드와 렌즈를 분리시키는 방법으로서, 이와 같은 방법으로 제작된 초소형 렌즈 배열은 렌즈 형태를 구현하는데 있어 큰 무리가 없었으며 stirring의 조건을 변화시켜 fill factor가 높은 초소형 렌즈 배열을 제작 할 수 있었다.

본 실험에서 렌즈와 몰드를 분리시키는 공정에 대한 연구를 좀 더 단순화 할 수 있다면 본 연구에서 개발된 방법에 의해 제작된 렌즈는 영상소자 및 display 등에 손쉽게 응용될 수 있을 것으로 판단되어 SAM coating 방법에 의한 Si와 렌즈의 분리에 대해 연구하고 있다. Si의 SAM으로 사용되는 물질에는 MTS (RSiCl_3 ; Monoalkyltrichlorosilane)과 DDS (R_2SiCl_2)의 두 가지 종류의 물질이 있다. DDS류인 DDMS($(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$; dichlorodimethylsilane)은 일반적으로 사용되는 SAM coating 방법으로 알려져 있으며 본 실험에 사용될 경우 효과적인 분리방법으로 사용될 것으로 예상된다.

6. 참 고 문 헌

- [1] Pekka savander, Optics and Laser in Eng., Vol. 20, p.97, 1994.
- [2] Martin Eisner, Opt. Eng., Vol. 35(10), p.2979, 1996
- [3] Toshihiro Hirai, Colloids Surfaces A: Physiochem. Eng. Aspects153, p.503-513, 1999.
- [4] Gregory T.A. Kovacs, proceeding of The IEEE, Vol.86, No.8, August 1998.

著 者 紹 介



문 성 옥

1986년 연세대학교 공과대학
금속공학과 졸업(학사)

1988년 연세대학교 공과대학
금속공학과 졸업(석사)

1994년 연세대학교 공과대학
금속공학과 졸업(박사)

1995년~1997년 영국

Rutherford 연구소 우주연구부 객원연구원

1989년~현재 한국과학기술연구원 미래기술연구
본부 마이크로시스템연구센터

주관심 분야 : Optical MEMS, Uncooled type
microbolometer, Optical
component for WDM



김 희 연

1998년 동국대학교 이과대학
물리학과 졸업(학사)

2000년 동국대학교 이과대학
물리학과 졸업(석사)

2000년~2001년 한국과학기술
연구원 미래기술연구본부 마

이크로시스템연구센터 Optical MEMS 연구실

2001년~현재 한국과학기술연구원 21C 프론티
어사업단 지능형마이크로시스템 개발사업단 시스
템 통합팀

주관심 분야 : MEMS, 지능형시스템