

# 사람의 눈을 닮은 반구형 전자눈 카메라

글 | 고흥조 \_ 일리노이대학교 재료공학과 박사 후 연구원 heungcho@uiuc.edu

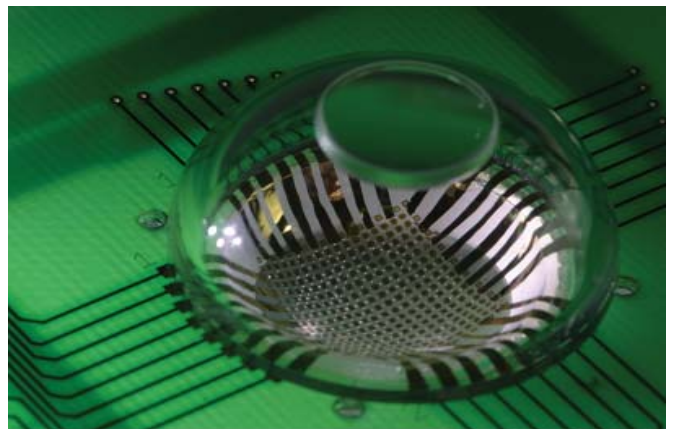
**역**사적으로 볼 때 필름 카메라에서 디지털 카메라로의 개발은 사람의 눈의 진화에 비해 비교할 수 없을 정도로 짧은 시간에 이루어졌다. 카메라의 개발 속도를 보고 있노라면 가끔씩 우리는 카메라와 사람의 눈 중 어느 것이 좋은가라는 의문을 갖는다. 과연, 사람의 힘으로 개발된 카메라가 오랜 진화과정을 거친 사람의 눈을 앞질렀을까? 이 질문에 대한 해답을 얻으려면 먼저 카메라와 눈의 구조를 살펴보아야 할 것이다.

## 평면구조 카메라, 왜곡 보정 위해 복합렌즈 사용

시중에서 구할 수 있는 일반 디지털 카메라의 센서 구조는 평면인 반면 사람의 눈은 구형이다. 전자의 경우 복합 초점 렌즈를 후자의 경우 단순한 초점 렌즈를 사용한다.

카메라의 시야각은 사람의 눈보다 작다. 이 모든 것은 초점렌즈를 통해 생긴 초점면과 밀접한 관련이 있다. 우선 센서에 광학적으로 상을 맺히게 하기 위해서 곡면 구조를 갖는 볼록 초점렌즈가 불가피하고 단순한 하나의 초점 렌즈에서 생긴 초점면은 평면이 아니고 포물선형이다. 우리 눈은 그 포물선형과 아주 흡사한 구형이므로 크게 수차가 생기지 않는다.

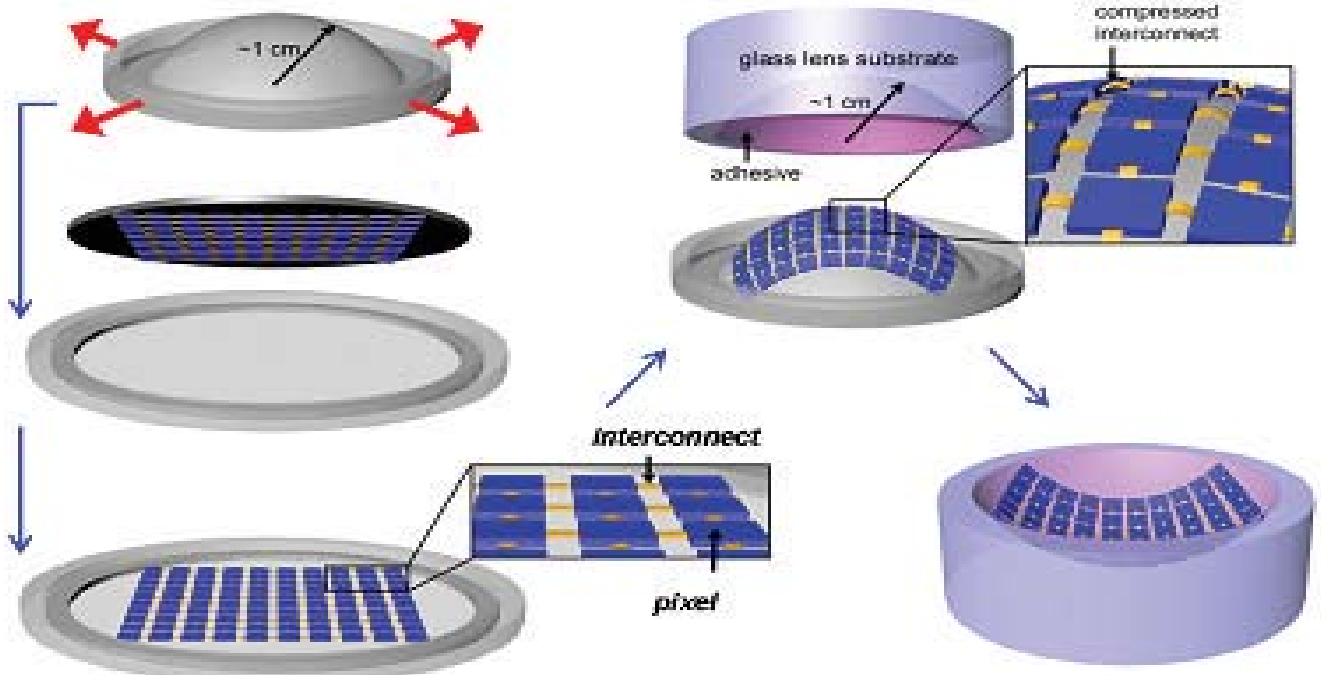
반면 카메라의 평면 구조에서는 상황이 다르다. 가장자리로 갈수록 초점이 잘 안 맞아 희미해진다. 이를 보정하기 위해서 어쩔 수 없이 무겁고 복잡한 형태의 렌즈를 사용해야 한다. 즉 카메라의 가격은 이런 복합렌즈의 가격에 의해 좌우될 정도이다. 이는 적외선 카메라인 경우에 더욱 심하다. 왜냐 하면 렌즈 가격이 상당히 고가



반구형 카메라(256 픽셀)

이기 때문이다. 광학적 수차를 고려하면 구형 모양의 눈의 망막 구조는 카메라 센서의 평면 구조에 비해 훨씬 유리한 장점을 갖는다.

그렇다면 차라리 값비싼 복합렌즈를 사용하지 말고 센서의 구조를 우리 눈과 비슷한 곡면 구조로 제조할 수 없을까? 사실 이 문제는 센서에 사용되는 물질의 기계적 특징과 제조를 위한 공정장비와 밀접한 관련을 갖는다. 센서 물질 자체는 상당히 깨지기 쉽고 제조 과정에서 패터닝, 에칭, 물질 성장, 도핑과 같은 대부분의 공정 방법이 평면 구조에 국한되어 있다. 이 두 가지는 최근 20년 간 많은 연구진이 고민하던 골칫거리이다. 센서의 평면 구조가 좋지 않은 것을 알면서도 재료 및 공정 과정의 한계 때문에 어쩔 수 없이 복합 렌즈 구조로 갈 수밖에 없는 실정이다.



폴리다이메틸실로센 고무막을 이용한 반구형 카메라 제작방법

### 곡면으로 구부릴 수 있는 센서 회로 개발

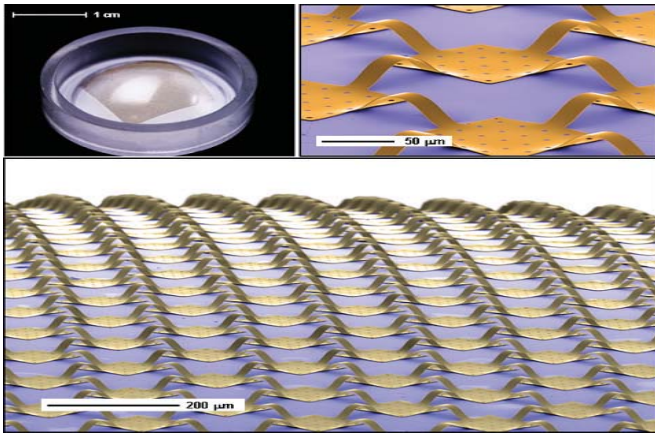
필자가 제1 저자로 참여해 최근 발표한 연구는 이런 고민거리에 하나의 해결책을 제시한다. 평면 구조에 사용되는 재료 및 공정 방법을 그대로 사용하고 곡면 구조로도 변형시킬 수 있는 방법을 개발한 것이다. 사용된 방법은 크게 두 가지이다. 첫째, 곡면으로 구부릴 수 있는 수축 가능한 센서 회로를 제조하는 것이다. 이를 위해서는 구부리거나 수축을 가해도 부러짐이 없어야 한다. 특히 광·전기 특성은 아주 좋으나 쉽게 부러지기 쉬운 단결정 실리콘 같은 무기 반도체 웨이퍼를 이용하고자 한다면 아주 대담한 발상의 전환이 필요하다.

실리콘 웨이퍼를 그 자체로 구부리고자 하면 당연히 깨질 것이다. 그 이유는 구부리는 동안 상층표면에서 팽창이 일어나고 하층 표면에서 수축이 일어난다. 그 변형이 물질 자체가 견딜 수 있는 허용범위를 벗어나기 때문에 쉽게 깨진다. 그러나 만약 아주 얇은 박막을 제조할 수 있으면 상황이 달라진다. 박막은 구부러도 상층부와 하층부의 변형이 아주 적다. 유연한 박막을 사용하여도 생각해 할 문제도 또 있다. 평면 구조에서 곡면 구조로 변형시키기 위해서는 평면 구조물을 팽창시키거나 수축시킬 수밖에 없다. 이

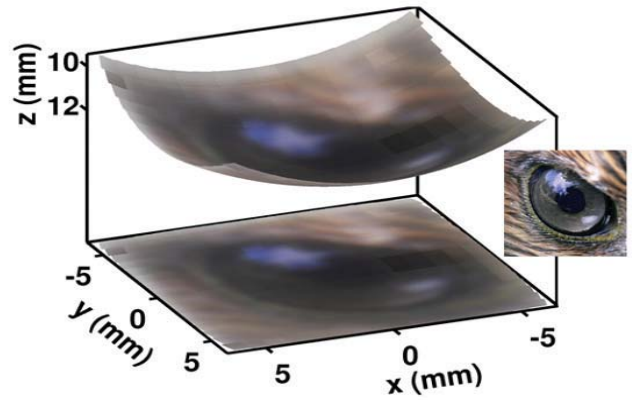
미 퍼질 대로 퍼진 평면인 경우는 잡아 늘릴 수 없기 때문에 사실 수축시키는 방법을 써야 한다. 픽셀들이 서로 연결된 그물 구조를 가지면서 수축 가능해야 하기 때문에 기계적 구조에 대한 고찰이 필요하다.

이번에 개발된 구조를 보면, 센서 픽셀에 해당하는 부분은 수축 및 팽창에 민감하게 감응하지 않고 단지 픽셀 간에 연결된 연결선이 구부러질 수 있는 구조로 되어 있다. 즉 연결선이 수축될 때 아치 모양으로 구부러져서 픽셀 간 간격이 좁아지고 팽창될 때 평평하게 퍼져 픽셀 간 간격이 넓어진다. 이 연결선의 구조적 변형에 의해 곡면으로 구부릴 때 전체적인 모양이 곡면 구조로 바뀌게 된다. 픽셀과 픽셀 사이를 연결하는 금속 연결선 주위는 폴리이미드라는 고분자로 씌워주어 변형에 의한 충격으로부터 금속 연결선을 보호할 수 있다.

두 번째 방법은 평면에서 반구형으로 변형시키기 위해 폴리다이메틸실로센이란 고무막을 이용하는 것이다. 반지름이 약 1cm되는 반구형 구조의 얇은 고무막을 미리 성형하고 이를 방사방향으로 늘리면 곡면의 고무막은 팽팽해져 결국 평면 구조가 된다. 이 팽창된 평평한 고무막에 센서 구조물을 옮긴 후 장력을 풀면 고무막은 다



반구형 폴리메틸실록센 얇은 막에 옮겨진 실리콘 패턴



반구형 카메라로 얻은 매의 눈


시 반구형으로 되돌아간다. 이 때 모든 픽셀의 연결선들이 아치 모양으로 구부러지면서 수축되어 센서는 곡면구조를 갖게 된다. 이 방법을 이용하면 변형이 50% 정도까지도 가능하다. 이렇게 고무막을 이용하여 구조 변경을 하면 가장자리로 갈수록 픽셀과 픽셀 사이의 거리가 조금씩 줄어들어 결과적으로 픽셀의 밀집도가 가장자리로 갈수록 높아진다. 그 이유는 고무막을 평평하게 팽창시킬 때 가장자리가 많이 늘어나기 때문이다.

이렇게 고무막에 옮겨진 곡면 센서 구조물은 접착 물질을 이용하여 다시 같은 곡면을 갖는 딱딱한 반구형 기판에 옮겨질 수 있다. 이 기판을 회로기판에 장착시켜 외부선을 연결한 후 초점 렌즈를 장착하면 최종 소자가 완성된다. 사용된 센서 회로로서 각 픽셀은 단결정 실리콘 광다이오드와 전류 차단용 다이오드로 구성된 수동형 구동방식이고 제작된 픽셀의 개수는 256개이다.

### 눈 동작원리 이용해 해상도 높은 이미지 얻어

이렇게 제조된 카메라를 이용하여 이미지를 얻으면 픽셀 개수의 한계로 해상도가 그렇게 높지 못하여 이미지는 마치 조각조각이 난 듯하다. 적은 픽셀 수는 역시 사람의 눈이 어떻게 하여 이미지를 얻는지를 알아보면 극복할 수 있다. 사람의 눈은 무의식적으로 조금씩 움직이면서 이미지를 얻고 두뇌는 얻어진 이미지를 종합하여 좀 더 깨끗한 이미지를 만들어 낸다. 즉 망막의 한정된 시신경의 수를 극복해 좋은 이미지를 얻어낸다. 역시 이렇게 진화된 눈의 동작 원리를 이용하면 반구형 전자눈 카메라도 역시 한정된 픽셀의 개수를 극복해 훨씬 높은 해상도의 이미지를 얻을 수 있다. 예

를 들어 픽셀과 픽셀 사이를 10단계로 조금씩 움직여 이미지를 얻고 각각 얻어진 이미지를 재조합시키면 훨씬 더 해상도가 높은 이미지를 얻을 수 있다. 물론 얻어지는 이미지는 곡면 구조이기 때문에 평면 스크린에 다시 투영시키는 경우 이미지가 왜곡되지 않도록 알고리즘을 사용해야 한다. 하나의 초점 렌즈를 사용하여 얻어진 이미지는 반구형 센서일 경우 평면 구조의 센서에 비해 전 영역에서 초점이 잘 맞아 가장자리의 왜곡현상이 현저히 줄어들었고 시야각이 넓어졌다.

이번에 개발된 반구형 전자눈 카메라는 시야가 넓고 상의 왜곡도 적기 때문에 여러 영상 장비, 여러 측정 장치 또는 시각장애인용 보조 장치 등 다양하게 활용될 것으로 보인다. 이번 연구의 핵심인 고무막을 이용한 변형 방법은 아주 손쉬운 간단한 방법이고 대부분의 회로 제작 과정이 평면 구조를 기초로 한 기존 공정 방법으로 이루어지는 장점이 있다. 이 방법을 이용하면 반구형뿐 아니라 여러 복잡한 기판에도 평면의 전자소자 장치를 옮겨 놓을 수 있다. 예를 들어 신체의 일부분에 회로구조물을 옮겨 놓거나 복잡하고 굴곡된 기판에도 필요한 센서를 자유자재로 장착시킬 수 있어 휴대 장치 개발에도 응용될 것으로 기대된다. 



서강대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사·박사학위를 받았다.