

Hydrogenated Amorphous Si의 응용



이충훈

원광대학교 반도체학과 교수



김철하

현대전자(주) LCD(本) TFT 제품기술부

1. 서론

비정질 실리콘은 많은 분야에 있어서 응용되고 있으며, 잠재력을 갖고 있는 물질이다. 화석 연료에 의한 환경 파괴 및 에너지 고갈에 따른 대체 에너지의 일환으로 비정질 실리콘을 이용한 태양전지는 이미 상업화가 되고 있다. 또 CRT(Cathode Ray Tube)를 이용하는 디스플레이의 대체기술로서 평판 디스플레이의 하나인 비정질 실리콘 TFT-LCD도 큰 시장을 형성해 나가고 있다. 그리고 광을 인식하는 이미지 센서의 개발에도 많은 연구가 진행되고 있고, 최근에는 공학용의 비파괴 검사나 의학용의 X-ray 사진 촬영에도 비정질 실리콘을 이용한 X-ray 검출기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 많은 응용 분야에서 비정질 실리콘은 가장 중요한 소자의 재료로 사용되고 있다.

먼저 비정질 실리콘에 대하여 살펴보기에 앞서, 반도체 기술의 모체가 되고 있는 소위 단결정 실리콘(c-Si)에 대하여 간단히 살펴보자. 단결정 실리콘은 다이아몬드 구조를 하고 있어서 전자로 채워진 가 전자대와 전자가 이동할 수 있는 전도대 사이에 에너지 갭이 존재하는데 이 값이 $\sim 1\text{eV}$ 정도로 반도체 성질을 보여준다. 단결정 실리콘은 에너지 밴드 갭 사이에 운반자의 흐름을 방해하는 트랩 상태가 매우 적고, 전자 및 정공(hole)의 이동도도 매우 빠르다. 특히 단결정을 구성하고 있는 실리콘은 4가 원소인데, 여기에 3가 원소인 붕소(Boron)나 5가 원소인

인(Phosphor) 등의 불순물을 주입하여, p-type 및 n-type의 소자를 결합한 회로 형성이 용이하다. 그러나, 단결정 실리콘은 기판 제작과 Device 제작이 고온 공정에서 진행되기 때문에 기판 크기에 많은 제약이 따른다.

본 논고에서는 이러한 단결정 실리콘의 한계점을 극복할 수 있으며, 향후 많은 응용 잠재력을 갖고 있는 비정질 실리콘에 대하여 소개하고자 한다.

단결정 실리콘은 외곽 전자가 모두 이웃 실리콘과 공유 결합을 하고 있는 다이아몬드 구조로 구성되어 있지만, 비정질 실리콘은 이웃 원자와 결합을 하지 못하고 남은 미결합(dangling bond) 상태로 존재하는 실리콘 원자가 상당수 존재한다. 따라서 비정질 실리콘은 결정의 주기성이 결여되어 장거리 질서가 없고, 단거리 질서만 유지하게 된다. 비정질 실리콘의 미결합 상태는 결합 에너지와 반결합 에너지 사이를 점유하므로, 에너지 밴드 갭 내에 많은 국재 상태(localized states)가 존재한다. 비정질 실리콘은 에너지 밴드 갭 내의 국재 상태 밀도로 인하여 반도체로서의 큰 관심의 대상이 되지 못하였다. 그러나, Dundee 대학교의 Spear와 LeComber 그리고 Ovshinsky가 글로우 방전을 통하여 미결합 상태에 수소나 불소를 결합시킨 비정질 실리콘을 형성 시킴으로써 금지대 상태 밀도를 크게 줄일 수 있었으며, 이로 인하여 비정질 실리콘에 도핑이 가능하게 되었다. 이때부터 비정질 실리콘은 p-n 접합이나 전계 효과 트랜지스터(Field Effect Transistor) 등의 소자를 제작할 수 있게 되었다. TFT 구조는

1935년에 영국의 O. Heil이 TFT의 구조 특허를 취득하고, 1961년에 박막 트랜지스터의 기본 개념이 나온 이래, 1970년대에 기본적인 연구가 진행되었다. 1971년에 Lechner가 매트릭스 디스플레이의 각 화소를 독립적으로 스위칭하면 100:1 혹은 그 이상의 고대비비를 얻을 수 있을 것이라고 제안하여 AMLCD의 기본 개념을 발표하고, 1971년에 최초의 AMLCD가 Brody 등에 의해서 발표되었으나, 이때의 박막 트랜지스터는 CdSe TFT였다. 1972년에 Spear와 LeComber가 글로우 방전 방법으로 수소화된 비정질 실리콘을 만든 후에 1979년에 LeComber에 의해 비정질 실리콘 TFT가 개발되었다. 또한, 그는 TFT의 AMLCD용 화소 스위치로서의 적용을 제안하였다. 특히, 비정질 실리콘 박막은 광에 대하여 다음과 같은 특징을 갖고 있어서 광 센서나 광전지 소자에도 응용될 수 있다. 첫째로 태양의 대부분의 가시광선 영역에서 광 흡수 계수(optical absorption coefficient : $>10^6 \text{cm}^{-1}$)가 높아, 박막 두께가 1000~5000 Å에서도 광 흡수가 모두 일어난다. 둘째로, 비정질 실리콘의 광학적 밴드 갭은 약 1.7eV로 태양 에너지의 변환 효율이 높다[1].

비정질 실리콘이 상업적으로 큰 각광을 받고 있는 데는 많은 장점을 갖고 있기 때문이다. 그 이유는 비정질 실리콘 박막 자체가 비정질 상태이기 때문에 유리와 같은 값싼 재질을 이용할 수 있고, 금속이나 절연막 위에도 사일렌(SiH₄) 가스를 사용하는 PE-CVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)로 쉽게 증착할 수 있기 때문에 제조 원가가 매우 낮다. 또한 비정질 실리콘은 250°C 정도의 저온으로 증착하기 때문에, 대면적 기판 위에 박막 증착이 가능하며, 프린트 헤드, 복사기용 드럼, 태양전지, 그리고 대화면의 평판 디스플레이, X-ray 검출기 등에 응용이 가능하다.

현재 비정질 실리콘을 이용한 응용 제품으로는 위에서 언급한 것 이외에 앞으로도 계속 타 분야에 응용될 전망이다. 이러한 비정질 실리콘의 응용 소자에 대하여 간단히 살펴보자.

1. 광 다이오드(Photo-diode)

그림1은 Schottky-type의 광 다이오드 구조와 에너지 밴드 구조이다. 광 다이오드는 광이 투과할 수 있는 투명 전극과 금속 전극 사이에 광 전도체인 비정질 실리콘이 삽입된 구조이다. 광 다이오드에 조사된 상태에서 전압을 변화 시키면 광 전류가 그림과 같이 크게 증가하게 된다. 음의 전압을 인가하면 Schottky 장벽에 기인하여 포화가 일어나며, 광의 명(Bright)시와 암(Dark)시의 전류비가 10의 수승의 차가 나서 광의 센서로 활용이 가능하다.

2. 태양 전지(Solar Cell)

태양 전지의 구조는 비정질 실리콘 박막을 p-i-n 접합 시켜서 만든다. 비정질 실리콘 박막에 입사된 광 에너지는 전자와 정공 쌍을 발생시키며, 이 전자와 정공은 p-i-n 접합의 에너지 밴드 구조에 기인하여 서로 반대 방향으로 흐르게 되는데, 광 다이오드의 출력은 두 전극의 전압차와 광 에너지에 의해서 흐르는 전류에 의하여 결정된다.

태양 전지는 1974년 David Sarnoff 연구소의 E. Carlson이 처음으로 비정질 실리콘을 이용한 p-i-n 다이오드를 사용하여 광전환 효율이 2.4%인 태양전지를 제작하는데 성공함으로써 큰 관심을 불러 일으켰다[2].

비정질 실리콘을 이용한 태양 전지는 대면적 유리 기판 위에 광 다이오드를 행렬 형태로 제작하여, 태양으로부터 반영구적인 전력을 얻을 수 있는 장점이 있다. 태양 전지는 산악지대나 낙도 그리고 인공 위성과 같은 전기가 공급되지 않는 곳에 설치되어 반영구적으로 전기를 공급할 수 있는 유일한 수단이 된다. 특히, 태양 전지는 미래의 대체 에너지로서도 주목 받고 있다.

3. 비정질 실리콘 박막 트랜지스터(a-Si:H Thin Film Transistor)

소자를 제작할 수 있다. 그림2는 Bottom 게이트 형의 n-type TFT 구조와 전이 특성을 나타낸다. 비정질 실리콘 TFT의

제작은 금속 게이트 위에 절연막(SiN_x)과 진성 비정질 실리콘(a-Si:H) 박막을 형성하고 난 뒤, 채널을 보호하기 위하여 다시 절연막(SiN_x)을 증착하고 난 뒤, 마스크 공정을 사용하여 패턴을 형성한다. 그 뒤 Ohmic 접합을 위하여 n⁺ 박막과 금속을 차례로 증착하고 난 뒤, Source와 Drain 전극을 형성하면 Bottom 게이트 형의 TFT가 완성된다. 비정질 실리콘 TFT는 고갈 모드에서 동작하는 단결정실리콘과는 다르게 축적 모드에서 동작한다. 즉 양의 게이트 전압을 인가하면 절연막과 비정질 실리콘 경계면에 다수 운반자(전자)가 축적되고 이 전자들이 드레인 전압에 의하여 드레인 쪽으로 이동함으로써 큰 전류가 흐른다. 그러나, 음의 게이트 전압에 대하여

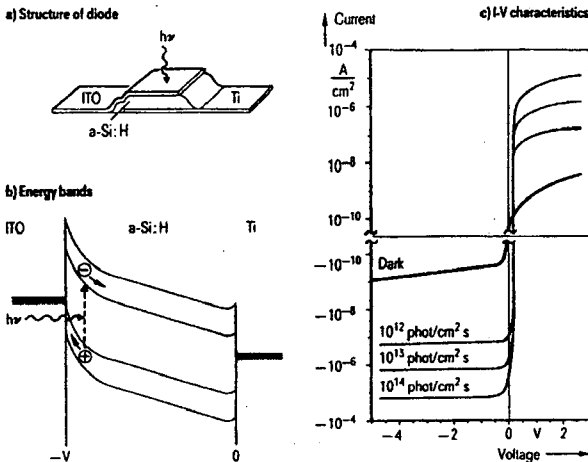


그림 1. Schottky 형의 비정질 실리콘 광 다이오드
 a) 다이오드의 구조. b) 에너지 밴드 구조.
 c) 광의 강도에 따른 전류 특성

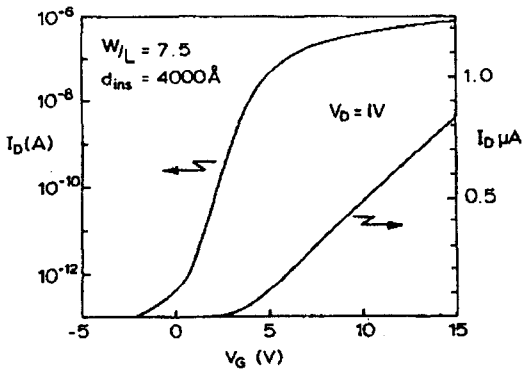
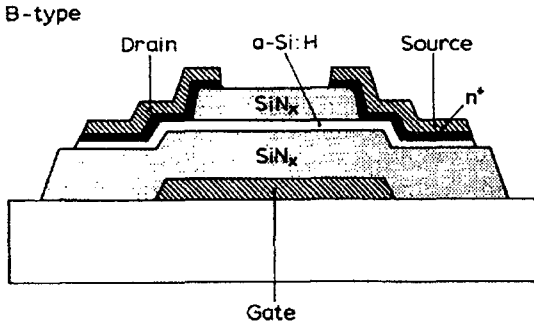


그림 2. Bottom 게이트형의 비정질 실리콘 TFT 구조 및 전이(Transfer) 특성

서는 정공(hole)이 형성되어 채널과 n⁺ 사이에는 역방향의 p-n 접합이 형성되어 전자의 흐름이 차단되어 전류가 흐르지 못한다. 비정질 실리콘 TFT는 단결정실리콘에 비하여 밴드 갭 내의 국재 상태 밀도가 커서 문턱 전압은 높고, 이동도는 단결정 실리콘에 비하여 1/1000정도 낮다. 그러나 ON/OFF 전류비는 10⁶ 배로 높아 스위칭 소자로는 매우 우수한 특성을 보여줌으로 LCD의 화소를 스위칭하는 소자로 사용되고 있다.

4. CCD(Charge-Coupled Device)에의 응용

1970년 Boyle과 Smith[3]는 처음으로 Charge-coupling 원리에 대하여 발표하였다. 그 후, Amelio와 Tompsett 그리고 Smith가 MOS 다이오드를 이웃하게 배치하여 아주 간단한 최초의 CCD를 개발하였다. CCD는 일련의 적절한 clock 전압 펄스를 인가하여 한쪽 MOS diode capacitor에 충전된 전하를 이웃한 MOS diode capacitor로 이동시킬 수 있도록 형성한 회로이다.

그림3은 비정질 실리콘을 이용한 CCD의 등가 회로이다. 가운데 전극이 high 전압 상태이고, 바깥쪽의 전압이 low 전압 상태인 경우에 신호 전자들은 가운데 전극 아래에 있는 비정질 실리콘/절연막 계면에 형성된 절연막의 용량 C에 저장된다. 그 다음 오

른쪽 게이트에 전압이 인가되면 용량 C에 저장되었던 전자들은 이웃한 Capacitance로 빠져나가게 된다. CCD가 아날로그나 메모리 소자에 응용될 경우에는 CCD의 입력(Input) 단의 p-n 접합에 적당한 전압을 걸어서 일정량의 전하량을 만들 수 있다. 그리고 광 이미지 센서에 응용될 경우에는 비정질 실리콘에 입사된 빛의 강도에 따라서 생성된 전자-정공 쌍의 양에 의해서 전하량이 결정되어진다. 따라서 출력 신호의 전하량은 빛의 강도에 비례하게 출력된다.

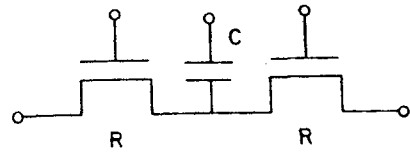


그림 3. 비정질 실리콘을 이용한 CCD의 등가 회로[4]

단결정 실리콘을 이용하여 CCD를 만들 경우, 1차원이나 2차원의 이미지 센서는 1cm² 이상 제작하는 것이 매우 어렵다. 패시빌리 전송기에 사용되는 CCD는 면적이 넓을수록 유리하다. 현재 전송기에 사용하는 단결정 실리콘 CCD는 면적이 작기 때문에 큰 종이를 CCD 이미지 센서에 맞추기 위해서는 광학 렌즈 시스템을 사용해야 하기 때문에 부피가 크다. 그러나 이미지 센서가 종이에 직접 접하도록 하면 전송기는 매우 작아질 수 있다. 따라서 비정질 실리콘 CCD에 관한 연구는 패시빌리에 적합한 대면적 센서 개발에 집중되고 있다.

5. 디스플레이(Display)에의 응용

기존의 CRT(Cathode-ray tube)를 사용한 TV, 모니터와 같은 디스플레이는 부피가 커서 공간을 많이 차지하고 휴대품으로는 거의 사용이 불가능하였다. 그러나 평판 디스플레이의 하나인 LCD(Liquid Crystal Display)는 소비전력이 작고, 부피가 작아서 게임기, Note-book PC와 같은 휴대용으로는 물론 PC용 모니터와 같은 사무용 디스플레이, TV와 같은 가정용 디스플레이를 대체해 나가고 있다. LCD에서 비정질 실리콘은 화소를 Control하는 핵심 스위칭 소자로 응용된다.

그림 4는 LCD의 구조이다. 투명 전극 선이 형성된 두장의 유리기판 사이에 액정(결정성을 지닌 액체)을 상하가 서로 90°나 270° 비틀리도록 배향시킨다. 여기에 두장의 편광판을 상하 기판에 액정의 배향 방향과 일치하게 서로 수직이 되도록 부착을 시키고 난 뒤, 한쪽 면에 광원(Back-light er)을 부착하여 완성시킨다. LCD의 구동은 액정의 유전 이방성과 복굴절을 이용하여 광을 제어한다. 즉 광원에서 출발한 광은 후면 편광판에 의하여 선편광 된 뒤, 액정의 비틀린 방향을 따라서 진행된다. 액정을

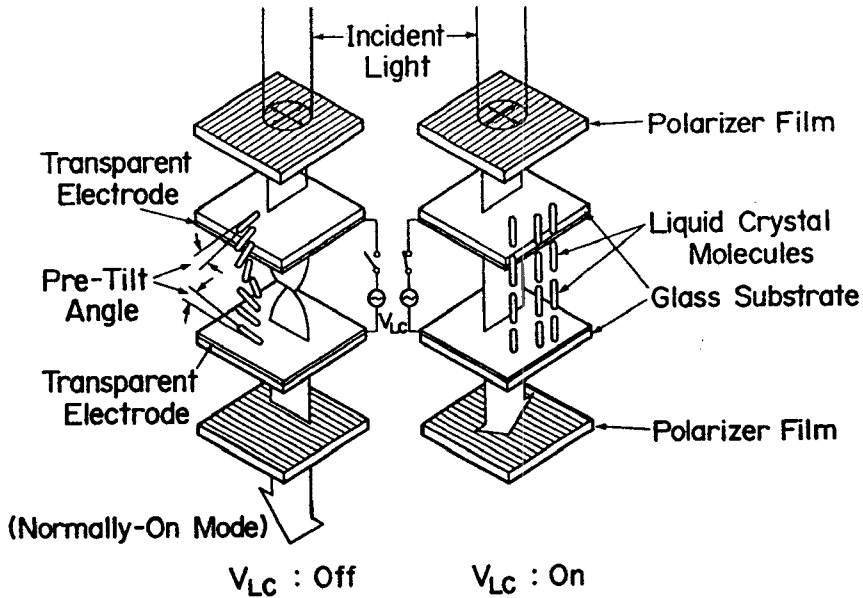


그림 4. LCD의 구조와 동작 원리

통과한 광은 다시 전면 편광판을 통과하게 된다. 그러나 상하 판의 두 전극에 전압을 인가하면 액정은 유전성 이방성에 의하여 액정 분자가 기판에 대하여 수직으로 일어서게 되는데, 이때 빛은 액정 분자를 따라서 비틀리지 않고 직진하게 된다. 이러한 경우 액정을 통과한 광이 전면 편광판에 의하여 완전히 차단되어 광은 차단된다. LCD는 이러한 방법으로 광을 제어하여 영상을 구현한다.

LCD는 구동 방식에 따라서 단순 행렬 방식(Simple Matrix type)과 능동행렬 방식(Active Matrix type) 방식이 있다. 단순 행렬 방식은 위에서 설명한 것과 같이 전극을 상하 기판이 서로 수직으로 배열하여 LCD를 구동 시킨다. 단순 행렬 방식의 LCD는 신호 전압이 이웃 화소에도 영향을 주게 되어 전극 선 수가 증가할 수록 명암 대비를 나타내는 Contrast가 급격하게 낮아져서 화질이 떨어진다.

능동 행렬 방식의 LCD는 한쪽 기판에 수직으로 전극 선이 배치되도록 하고, 전극이 교차하는 곳(화소)에 TFT와 같은 능동소자(Active Device)를 배치시킨다. 이 능동 소자를 통하여 화소를 Control함으로써 화소 간의 간섭(Cross-talk)을 제거할 수 있어 화질이 우수하다. 이러한 능동 소자의 재료로서는 비정질 실리콘을 이용한 TFT가 활용되고 있다.

6. 이미지 센서에서의 응용

이미지 센서의 기능은 빛의 분포로 구성된 영상을 전기적인 신호로 발생시키는 것인데, 크게 카메라 튜브와 고체 센서(solid-state sensor)로 나누어진다. TV용 카메라에 사용되는 카메라 튜브는 대부분 비정질 실리콘이나 다결정 실리콘(poly-Si)을 사용하고 있다. 카메라 튜브에 내장된 튜브 target의 구조는 그림 5와 같다. 빛이 들어오는 전면 유리 기판 위에 투명 전극 ITO와 운반자의 흐름을 차단하는 Block Layer와 광도전 물질인 SATICOM 이나 비정질 실리콘이 입혀져 있다. 이미지는 광학기를 통하여 전면 유리기판 위의 광도전 물질인 비정질 실리콘 박막에 초점이 맞춰진다. 따라서 이미지의 강도에 대응하는 운반자가 발생된다. 이렇게 형성된 전하는, 전자빔으로 한 줄 씩 주사하는데, 이때 흐르는 전류로부터 이미지 신호를 판독하게 된다.

1980년 이후로 비정질 실리콘을 이용한 1차원과 2차원의 이미지 센서가 개발되어 오고 있다. 대면적 1차원 및 2차원 이미지 센서는 회로를 이용하여 읽혀지는 1차원 및 2차원의 행렬 상태의 광 검출기로 구성되어 있다. 특히 비정질 실리콘을 이용하여 이미지 센서를 만들 경우에는 종이와 동일한 크기의 접촉식 센서(contact-type sensor)를 만들 수 있어서, 앞으로 원격 통신이나 사무 자동 응용 기기의 중요한

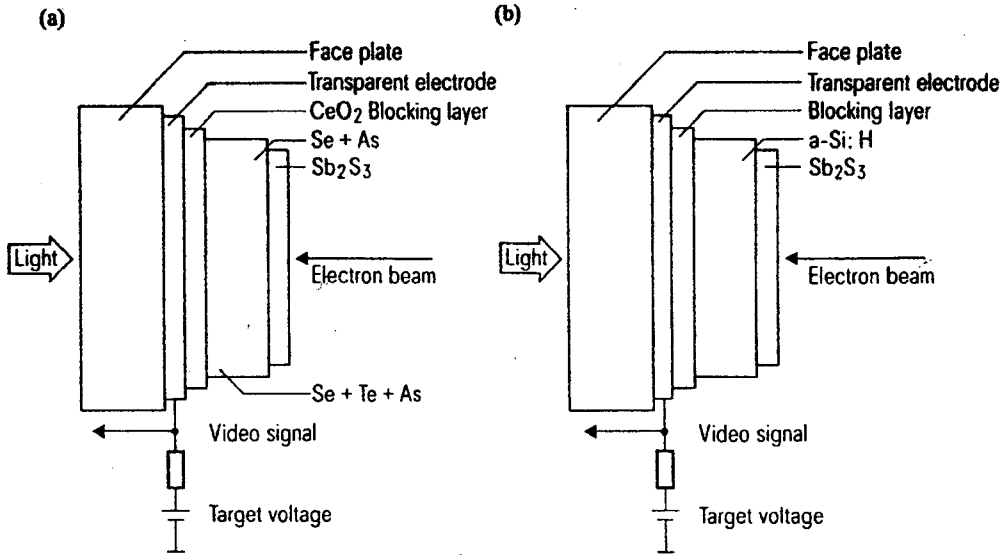


그림 5. 카메라 튜브용의 비정질 실리콘 target의 구조
 a) Se-As-Te (SATICON) target[5]. b) 비정질 실리콘 target[6]

요소로 간주되고 있다.

고체 센서 (solid-state sensor)를 사용하는 경우에는 이미지 센서에 연결된 전기적인 주사 회로를 사용하여 신호를 판독한다. 특히 고체 이미지 센서는 비정질 실리콘 TFT를 이용한 회로와 센서를 동시에 만들 수 있기 때문에 매우 큰 잠재력이 있다. 이러한 기술은 프린트 헤드, 스캐너, 복사기 헤드에 응용될 수 있다.

7. X-ray 검출기

X-ray 검출기는 방사성 의학, 고체 구조 연구에 필요한 결정학, 그리고 비파괴 검사 등에 활용될 수 있다. 이들은 각 위치에서의 X-ray의 강도로부터 정확한 영상을 구현하여야 한다. 현재 의학 및 산업 분야에서 방사선 사진은 X-ray 필름에 의존하고 있다. 필름은 뛰어난 공간적인 해상도를 갖고 있지만 실시간 처리 능력은 거의 없어, 통신을 통한 원격 진단이나, 컴퓨터를 활용한 정밀 진단에는 많은 어려움이 있다.

최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 X-ray 검출기로 비정질 실리콘 광 다이오드를 이용하여 영상을 구현하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

X-ray 검출기의 구조는 그림 6과 같다[7]. 비정질 실리콘 광 다이오드와 스위칭 소자인 TFT를 행렬 배열하고, 그 위에 CsI나 형광체 박막을 입혀서 만든다. 형광체는 X-ray의 고 에너지를 이용하여 가시광선을 방출하면 그 하부에 배열된 비정질 실리콘 광 다이오드는 X-ray 강도에 따라서 전하량을 각 화소의 충전기에 저장하게 되는데, 이것을 외부의 구동 회로로부터 판독함으로써 X-ray 영상을 얻을 수 있

다. 따라서 이러한 전기적인 신호는 영상으로 전환이 가능하고 또한 실시간 진단이나, 통신을 통한 원격 진단에도 활용할 수 있다.

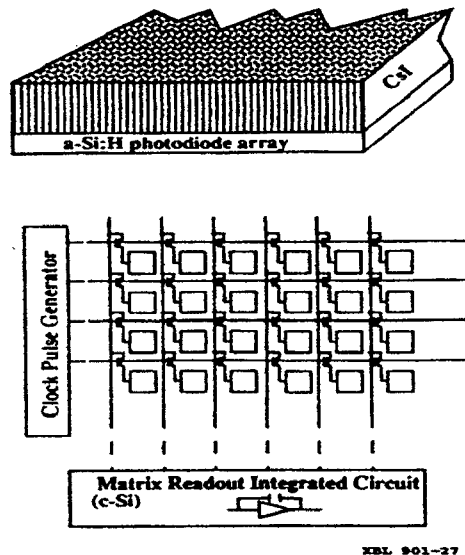


그림 6. 행렬 배열 구조의 X-ray 검출기

8. 저온 다결정 실리콘(Poly-Si) TFT에의 응용

휴대형 노트북 컴퓨터와 TV 및 캠코더의 뷰 파인더의 스위칭 소자로써 a-Si:H TFT는 기판 온도 300 °C 이하에서 증착이 가능하고 저가의 대면적 유리 기판을 사용할 수 있다는 이점이 있어 널리 사용되고 있다. 또한 a-Si:H TFT는 오프상태에서의 누설전류가 10^{-12} A/ μm 이하로 매우 낮아 액정 디스플레이의 적용 시 이점이 있지만 후광 조사 시 오프전류가 높고 전계효과 이동도가 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이하이기 때문에 주변회로의 일체화나 고속의 정보처리를 요구하는 동화상의 전달에는 문제점이 있는 것으로 알려져 있다. 이에 비해 이동도가 $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상으로 높고 빛에 덜 민감한 다결정실리콘(poly-Si)은 주변회로의 일체화 및 화소부 스위칭 소자의 크기 감소에 의한 개구율의 증가라는 장점이 있어 많이 연구되어지고 있고, 최근에는 이를 적용한 5.6"급 및 12.1"급의 패널이 개발되어 일부 제품화를 앞두고 있다 [8].

다결정 실리콘을 제작하는 방법으로 고상결정화(solid phase crystallization, SPC), 직접 증착법(as-deposition, Plasma-CVD, LPCVD), 급속열처리(rapid thermal annealing, RTA), 액상결정화(liquid phase recrystallization, LPR), 엑시머레이저 결정화(excimer laser annealing, ELA) 등이 있다. 이 중에서도 대면적화가 용이하고 저온의 유리기판을 사용할 수 있는 ELA 방법에 관한 연구개발이 활발하다. 엑시머 레이저의 경우 자외선 영역의 파장에서 시작 물질인 a-Si의 흡수계수가 10^6 cm^{-1} 이상으로 매우 높아 유리기판에의 손상을 최소화 하면서 시작물질을 결정화시킬 수 있기 때문에 중요한 기술로 인식되고 있다.

1970년대 말과 1981년에 걸쳐 Geis 등과 Rief 등에 의해 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 발전에 계기를 마련하는 self-implantation에 의한 다결정실리콘 박막의 제작이 시도되었다. 1980년대 초에 이르러서는 다결정실리콘과 비정질실리콘 디바이스를 사용한 AMLCD가 개발되었다. 이때에 일본에서 주로 생산한 비정질실리콘 TFT LCD는 주로 pocket TV (3~5") 용이었다. Kamins와 T. Matsumoto 등에 의해 1981년과 1982년에는 엑시머 레이저 아닐링(Excimer laser annealing) 방법에 의한 다결정실리콘 박막 트랜지스터가 발표되었으며, 1984년에는 T. P. Brody 등에 의해 직접 증착 다결정실리콘 박막 트랜지스터가 보고되었다. 그 후 1985년에 Morozumi에 의해 다결정실리콘 박막 트랜지스터 드라이버IC(Integrated Circuit)가 제안 되었으며, 1980년대 후반에 다결정실리콘 박막 트랜지스터에 대한 활발한 연구가 진행되어 다결정실리콘 박막 트랜지스터의 누설전류를 줄이려는 많은 시도가 진행되었다.

다결정실리콘의 결정성 및 결정립 크기의 증가를 위한 연구의 일환으로 저온 공정인 레이저 열처리 방법이 K. Sera 그룹 및 H. Okumura 그룹 등에서 활발하게 이루어 졌다. 특히 TFT에의 적용은 저 누설전류를 위한 단순공정 및 이동도의 증가라

는 목표를 바탕으로 왕성한 연구들이 미국 및 일본 등의 업체를 중심으로 이루어졌다. 이러한 연구 방향에 관한 정리가 표 1에 나와 있다. 그리고 표에는 언급되어 있지 않지만 레이저 열처리에 의한 a-Si의 재결정화에 관한 연구는 미국의 J. S. Ihm 교수팀, Thompson 교수팀, 일본의 Kuriyama 팀, Sameshima 팀, Ishihara 팀 등에 의해서 주도적으로 연구되어 레이저 빔의 중첩 시 발생하는 여러 기재와 결정립의 측면 성장, 그리고 레이저 빔의 흡수에 의한 물리적현상 등에 관하여 많은 것이 정립되어 졌다.

이러한 레이저열처리에 의한 결정화의 핵심은 a-Si의 용융 후 고체화과정에서 일어나는 heat transfer and solidification velocity의 조절이고 이러한 열 전달과 고체화 속도의 최적화를 위해 시작물질의 두께, 버퍼 층의 두께, 레이저 빔의 조사횟수, 레이저 빔의 모양등이 결정되어야 하는 등의 중요한 연구 결과들이 발표되었다. 특히 T. Sameshima 그룹에서는 semi-staggered 방식의 구조로 $600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 이동도를 얻었고 Kuriyama 그룹에서는 다중층 조사방식에 의해 $400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 이동도를 얻었다는 발표가 있었다. 그리고 Ihm 교수 팀은 웨브론 형의 빔을 이용하여 $1 \mu\text{m}$ 이상의 결정립을 얻었고 D.H. Choi 팀은 SiO_2 프레임을 제작하여 $10 \mu\text{m}$ 정도의 결정립을 형성하였다. 최근에는 이러한 큰 결정립을 TFT에 적용하는 기술과 균일한 결정립을 얻는 기술(pulse width가 200 ns 이상인 레이저 빔을 이용한 결정화 : Sopras)이 연구되어지고 있다.

ELA를 이용한 poly-Si TFT의 제작에서는 80년 초의 Kamins 그룹의 MOSFET형을 시작으로 coplanar, staggered, inverse staggered 등에 관한 연구가 진행되었고 poly-Si TFT의 최대 단점인 오프상태의 고 누설 전류를 줄이기 위한 방법으로 LDD, offset gate, vertical a-Si:H offset등이 연구되고 있다. 일련의 선진 그룹에서는 submicron의 ELA poly-Si TFT에 관한 연구도 이루어지고 있어 소자 크기의 최소화가 도래될 전망이다.

Poly-Si TFT-LCD를 위한 ELA공정 및 소자 구조의 발전은 저 누설 전류화, 고 이동도화, 단순 공정화, 신구조 및 신공정화라는 관점에서 이루어져 왔고 현재 널리 사용되고 있는 대화면의 a-Si TFT-LCD의 대체라는 슬로건 아래 혁신적인 연구들을 바탕으로 상품화의 연구가 왕성하게 이루어지고 있다.

앞으로 평판 디스플레이의 array기술은 저온 poly와 같은 집적회로의 내장이 가능한 고성능, 고품위의 디스플레이들이 주류를 이루게 될 것이 분명하다. 아울러 이러한 목표를 달성하기 각 제조업체들에서는 양산기술개발에 최선을 다하고 있다.

지금까지 비정질실리콘을 이용한 광 이미지 센서, 태양전지, 스위칭 소자 등의 응용에 대하여 간단히 살펴보았다. 비정질실리콘은 20여년의 짧은 역사를 갖고 있지만, 산업성과 연결되어 큰 발전을 하여

왔고, 계속하여 많은 분야에 응용될 전망이다. 특히 비정질 실리콘을 이용한 저온에서의 결정화 형성 기술과 X-ray 이미지 검출기, 고효율의 태양 전지 개발 등은 현재 비정질 실리콘의 중요 개발 사항이 되고 있다. 따라서 비정질 실리콘 박막은 계속적으로 많은 발전을 해나갈 것이다.

References

- [1] Loferski, J. J., J. Appl. Phys. 27, 277(1956).
- [2] Carlson, D. E. and C. R. Wronski, "Amorphous Silicon Solar Cells," Appl. Phys. Lett. 28(11) pp. 671-673(1976).
- [3] W. S. Boyle and G. E. Smith, "Charge Coupled Semiconductor Devices," Bell Syst. Tech. J., 49, p. 587(1970).
- [4] Y. Naruke, S. Kishida, Y. Uchida, and M. Matsumura, "Theory of Amorphous-Silicon Charge-Coupled Devices," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-31, pp. 362-366 (1984).
- [5] Goto, N., Y. Isozaki, K. Shidara, E. Maruyama, T. Hitari, and T. Fujita, "SATICON : A New Photoconductive Camera Tube with Se-As-Te Target," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-21, No. 11 pp. 662-666(1974).
- [6] Oda, S., K. Saito, H. Tomita, I. Shimizu, and E. Inoue, "The Role of the Blocking Structure in Hydrogenated Amorphous Silicon Vidicon Targets," J. Appl. Phys. Vol. 52, No. 12, pp. 7275-7280(1981).
- [7] Cho, G., M. Conti, J. S. Drewery, I. Fujieda, S. N. Kaplan, V. Perez-Mendez, S. Qureshi, and R. A. Street, "Assessment of TFT Amplifiers for a-Si:H Pixel Particle Detectors," IEEE Trans. Nuc. Sci. NS-37 pp. 1142-1149(1990).
- [8] 장 진, "박막 트랜지스터의 발전 전망(1), (2)" 電子 디스플레이 1998년 4월호, 5월호.