

차세대 디스플레이를 위한 박막트랜지스터 열처리 기술

장성필, 주병권 (고려대학교 공과대학 전기전자전파공학과 디스플레이 및 나노시스템 연구실)

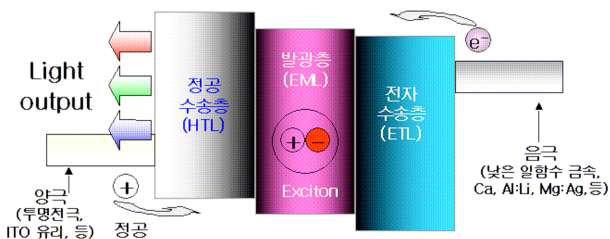
I. 서론

“보기 좋은 떡이 먹기도 좋다”라는 옛 말이 있다. 이 말이 의미하는 바는 인간이 무엇인가를 바라보고 평가할 때, 시각적인 부분을 중요하게 생각한다는 의미라고 볼 수 있다. 인간에게 시각적인 정보를 전달하는 대표적인 매체가 디스플레이이며, 이러한 디스플레이 산업에서 기존의 LCD(Liquid Crystal Display)의 시대에서 OLED(Organic Light Emitting Diode)로 디스플레이의 흐름이 이동하면서, 지금까지 사용되어 왔던, 비정질 실리콘(a-Si)은 많은 한계를 보일 수 밖에 없었다. 이는 LCD와 OLED의 구동방식에서 그 차이를 이해할 수 있는데, LCD의 경우는 BLU(Back Light Unit)에서 일정한 빛을 방출하고, 이를 액정을 이용하여 빛의 투과도를 결정하는 방식이다. 이러한 방식의 디스플레이의 경우, 스위칭 소자의 On/Off만 확실하면 크게 무리가 없다.

하지만, OLED의 경우 Anode와 Cathode를 통하여 Hole과 Electron을 흘려보내고, 이를 EL층(Emission Layer)에서 재결합시켜서 그 밴드갭에 해당하는 파장의

빛을 외부로 방출하는 방식이다.^[1] 즉, 다시 말하면 OLED의 경우 발광되는 빛의 휘도를 높이기 위해서는, 그만큼 많은 Hole과 Electron을 흘릴 수 있는 스위칭 소자가 필요하다는 의미가 되는데, 스위칭 소자에서 많은 전류를 흘려주기 위해서는 반도체 층의 이동도가 높아야 한다.

재료적인 측면에서 이동도를 향상시키기 위한 방법으로는 결정화시키는 방법이 가장 대중적으로 사용되고 있다. 결정화, 즉 이는 반도체층을 구성하는 각각의 원자가 Local site에서 최대한 안정적인 위치로 이동할 수 있도록 추가적인 에너지를 공급하는 과정으로 이해될 수 있다. [표 1]은 차세대 디스플레이를 위하여 a-Si를 대체할 수 있는 Candidates에 대해 연구되고 있는 재료들에 대한 특성을 보인 것이다.^[2] [표 1]에 나열된 기술들은 대부분 저온공정을 적용할 수 있는 기술이지만 poly-Si의 경우에는 높은 온도에서 열처리를 필요로 한다. 이를 저온공정으로 대신하기 위하여 개발된 것이 ELA(Excimer Laser



[그림 1] OLED의 발광원리

[표 1] a-Si를 대체할 수 있는 차세대 재료들의 비교

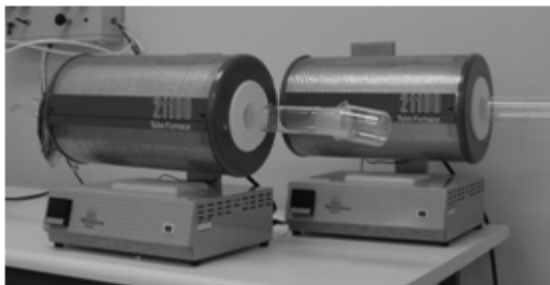
ITEM	ELA p-Si	μc / nc-Si	poly-Si	Oxide-TFT
Mobility(cm ² /vs)	50~200	1~20	20~100	~100
TFT type	PMOS, CMOS	NMOS	PMOS, NMOS	NMOS
Uniformity	Worse	Better	Fair	Better
Process Step	PMOS: 5~6 CMOS: 9~10	5~6	PMOS: 5~6 CMOS: 9~10	4~5
Compatibility with a-Si TFT line	Not	OK	Fair	OK
Total	Profitable (Small size panel)	High (Large size panel)	Fair	Profitable (Small size panel)
Current Stability	Stable	Stable	Stable	Stable

Annealing)이지만, 이는 소자특성의 균일성 부분에서 취약한 문제를 가지고 있다. 최근에는 기판의 온도제한성, 박막의 선택적 열처리의 필요성, 열처리 효율 향상의 필요성등이 제기됨에 따라서, 여러가지 열처리 기술이 시도되고 있으며, 본문에서는 원자에 에너지를 공급하는 여러가지 방법에 대해서 기술하고자 한다.

II. 다양한 열처리 기술들의 특징

1. Thermal annealing process

이 방법은 가장 전통적인 방법으로써, 제작 되어진 소자를 Furnace에 넣고 열처리를 하는 방법이며, 필요에 따라서 분위기 가스(Ambient gas)를 사용하는 경우도 있다. 이러한 기술은 기존의 실리콘 기반의 기술에서 널리 사용되어 왔으며, a-Si를 증착 후에 poly-Si를 형성하기 위한 과정으로 적용되어 왔다. 지금도 가장 널리 사용되고 있지만, 기판의 유리전이온도(T_g , Glass Transition Temperature)에 영향을 받는다는 단점이 있다. 예를 들어 a-Si 박막을 플라스틱 기판에 증착은 가능하지만, 여기에서 poly-Si를 형성하기 위해서 Thermal annealing에 의한 방법을 적용하기에는 지극히 제한적이라는 것이다. 또한 열처리 시간에 있어서 가장 오랜 시간을 소모한다는 점도 특징중의 하나이다. 유도코일에 전류를 흘림으로써 열을 발생시키고, 그로부터 발생하는 복사열을 이용하여 박막에 열에너지를 전달하는 방식이므로, 온도가 올라가고 내려가는 데에 많은 시간이 소요된다. 또한 해당 패널 사이즈에 해당하는 영역에서 균일한 온도분포를 갖는 장비가 필요하게 되므로, 디스플레이 패널의 사이즈가 커질수록, 장비의 사이즈 또한 커져야 하는 단점이 존재한다.

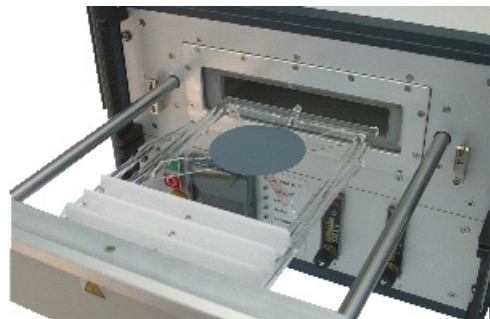


[그림 2] Thermal Furnace(Tube type)

또한, Hot-walled 방식의 열처리 기술이기 때문에, Tube 또는 Box 내부에 오염물질이 있을 때, 다음 열처리를 하는 과정에서 열처리 샘플에 전이 될 수 있는 가능성이 높다. 따라서 하나의 시스템 내에서 여러 가지 재료에 대한 열처리가 불가능한 점도 단점 중의 하나이다.

2. Rapid thermal process

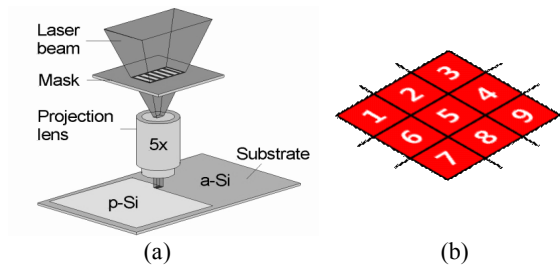
일반적인 Thermal annealing은 열처리에 소요되는 시간이 매우 길다는 단점이 있기 때문에, Time-cost를 절감하기 위해 짧은 시간에 필요한 온도까지 올려서 급속 열처리를 하는 시스템이 개발 되었다. 즉, wafer의 온도를 올려주기 위해서, inductor coil을 이용하는 것이 아니라, 직접 wafer에 빛을 쬐어서, 즉 Radiation heat transfer를 이용해서 wafer온도를 올려주는 것이다. 그러므로 외벽 및 주변(atmosphere)은 차가운 상태를 유지하게 되고, ambient control이 쉽고, Thermal mass(열처리량)가 작으므로 열처리 시간을 대폭 줄일 수 있다. 열처리 시간이 줄면 공정의 제어가 훨씬 수월하게 된다. 외벽이 차가우므로 외벽에 오염물질이 달라붙는 것을 덜 걱정해도 된다. 또한 여러장의 Wafer를 동시에 처리하는 Thermal annealing에 비하여 RTP는 wafer를 하나씩 처리한다는 것이다.



[그림 3] Rapid Thermal Process System

3. Excimer Laser Annealing

주로 ArF(197nm), KrF(248nm), XeCl(308nm)등의 가스를 사용하는 Excimer laser annealing(ELA) 기술은 기판의 온도제한성으로부터 벗어나기 위해 개발된 방법중의 하나이다. Pulsed laser beam을 마스크와 Projection



[그림 4] (a) Excimer Laser Annealing Process, (b) Projection Area에 의해서 구분 되어지는 영역

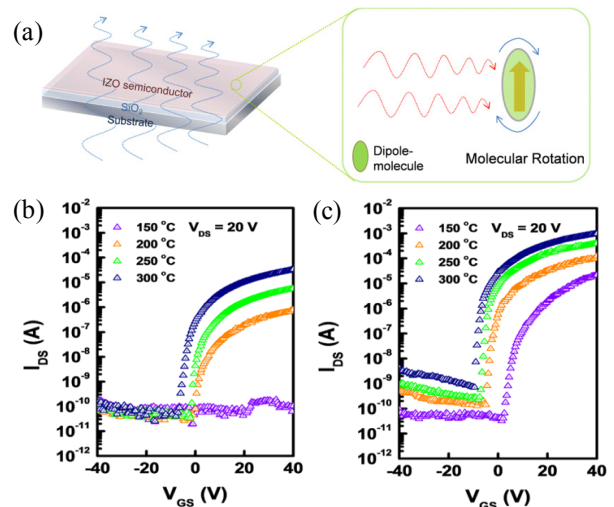
lens를 통과시키면 정해진 면적 내에서 비교적 균일한 에너지를 갖는 에너지 빔을 얻을 수 있다.^[3]

이러한 레이저 빔에 노출된 박막의 내부의 원자들은 레이저 빔에 의하여 에너지를 얻게 되고, 열처리 효과를 보이게 된다. ELA의 장점은 열에 의하여 에너지를 전달하는 방식이 아니기 때문에, Thermal Annealing 기술과 같이 온도를 올리거나 온도를 내리는 데에 따로 시간이 필요하지 않다는 것이다. 정해진 에너지를 공급하기 위한 펄스의 숫자만 컨트롤 해주면 되기 때문에, 공정변수 자체가 양자화(Quantization)될 수 있고, 공정제어에 용이한 장점을 갖는다. 또한 공정온도의 제약으로부터 벗어날 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 이러한 기술은 대면적에 치명적인 단점을 갖는다. Projection된 레이저 빔의 사이즈는 패널 사이즈에 비해서 매우 작을 수밖에 없기 때문에, 대면적의 디스플레이 패널을 열처리 한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 레이저 시스템 자체가 커지는 것은 아니지만, 지그재그식으로 패널전체를 커버해야 하기 때문에, 추가적인 자동제어시스템이 필수적으로 필요하게 된다. 또한 ELA 과정에서 Projection area에 의하여 열처리 되는 영역이 작기 때문에 [그림 3]-(b)와 같이 결정화 되는 영역이 구분 되어지며, 이 때, 각 영역 사이의 Boundary는 다른 특성이 나타나게 된다. 즉, 각 Projection area 내에서는 균일한 특성을 보이지만, 계면에서는 다른 특성이 나타나기 때문에, 만약 이 부분에 소자가 만들어지게 될 경우, 소자특성의 균일성에서 문제점이 발생하게 된다. 또한 ELA 기술의 경우 현재 양산라인에서 사용중인 기술이지만, 기존의 a-Si 공정라인 이외에 추가적인 설비가 필요한 부분이기 때문에, 초기투자 비용이 크다는 단점도 분명히

존재한다.

4. Microwave annealing process

Microwave annealing이라고 하면 쉽게 생각할 수 있는 부분이 가정용 전자레인지의 떠올릴 수 있다. 분명히 같은 기술이지만, 실제로 소자의 열처리에 사용되어지는 주파수에 약간 차이를 보인다. 가정용 전자레인지의 경우 13.56 MHz의 주파수를 사용하지만, Microwave annealing 시스템의 경우 2.54GHz의 주파수를 사용하게 된다. II.1) 절에서 설명한 것과 같이 Thermal annealing process의 경우에는 유도코일에 전류를 흘려 발생하는 열에너지가 반도체층의 가장 바깥쪽부터 Atom-to-Atom으로 안쪽까지 복사 되는 열처리 방식이라면 Microwave-assisted process의 경우에는 전자기파를 이용하여 박막 내부의 Electric-dipole의 회전방향을 1초에 25억 4천만번을 변화를 줌으로써 박막의 외부뿐만 아니라 내부에 있는 원자들에 대해서도 에너지를 인가하는 방식이다. 그러한 부분에서 Thermal annealing process보다 높은 열처리 효율을 보인다.^[4] 또한 RTA와 유사하게 짧은 시간에 온도를 상승시켰다가 떨어트릴 수 있다는 장점도 있으며, 일반 열처리에 비해 짧은 공정시간 소요도 장점으로 꼽힌다.



[그림 5] (a) Microwave를 이용한 소자의 열처리 방법 및 Microwave에 의한 Dipole의 회전운동, (b) Thermal annealing과 (c) Microwave annealing에 의한 IZO-TFT의 전기적 특성

Microwave annealing의 특징은 또 하나 있는데, 이론적으로 Metal의 경우에는 열처리가 안 된다는 점이다. Microwave는 전자기파이므로, 전자기학적인 측면에서 보았을 때, 전자기파는 Perfect-conductor의 표면에서 100% 전반사가 일어난다.^[5] 이러한 이유로, 소자를 전체적으로 열처리 해야하는 경우에는 금속 전극에 의해서 열처리가 되지 않기 때문에 제한적인 요소가 될 수도 있지만, 이를 이용하여 선택적인 영역의 열처리 또한 가능하다는 점에 주목해야 할 필요가 있다고 보여진다.

III. 결 론

여러 가지 반도체 열처리 방법이 존재하고, 그에 따른 장단점이 존재한다. 공정속도와 웨이퍼의 처리량은 반비례 하는 경향을 보이기도 하고, 저온프로세스를 구현하기 위하여 레이저를 사용하는 경우에는 균일도의 문제를 해결해야 한다. 초고주파를 이용하는 경우는 아직 장비의 대형화가 이루어져있지 않는 상황이다. 초고주파 열처리 시스템의 경우에는 아직 반도체 공정에 적용시키기 위한 대형화는 이루어지지 않은 상태이지만, 플렉서블 디스플레이를 위하여 플라스틱 기판의 공정제한온도를 넘지 않는 한도 내에서 높은 열처리 효율을 기대할 수 있다. 이 밖에도 열처리 효율을 높이기 위한 여러 가지 기술들이 개발 되고 있다. 디스플레이분야를 연구하는 한 사람으로써, 저온 고효율 열처리 기술의 개발은 차세대 고휘상도 디스플레이를 위한 필수적인 기술이 될 것이다.

참고문헌

- [1] 정호균, "OLED 기술 개발 현황과 과제", 물리학과 첨단기술 14권 제4호 pp.3-5, (2005).
- [2] 김종우, 서한, 장성필, 주병권, "산화물 박막트랜지스터 기술동향", 월간디스플레이 10월호, pp.55-63, (2009).
- [3] L. Herbst, F. Simon, U. Rebhan, R. Osmanow, and B. Fechner, "New Technology for Creation of LTPS with Excimer Laser Annealing", Asia Display/IMID 04 Proceedings, (2004).
- [4] K. Song, C. Y. Koo, T. Jun, D. Lee, Y. Jeong, J. Moon, Journal of Crystal Growth 326, pp.23-27 (2011).

[5] D. K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetic Waves 2nd Ed.", Addison Wesley, pp.386-397 (1989).

저 자 약 력

주 병 권



- 1991년~1995년: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1988년~2005년: KIST 마이크로시스템 연구센터, 책임연구원
- 2005년~현재: 고려대학교 전기전자전파 공학부 교수
- 2007년~현재: 국가지정연구실 (디스플레이 및 나노시스템연구실) 운영

• 관심분야: Flat panel display(FED, OLED), MEMS, Nano-devices

장 성 필



- 1999년~2007년: 서울과학기술대학교 전자정보공학과 (공학사)
- 2007년~2009년: 고려대학교 전자전기공학 (공학석사)
- 2009년~현재: 고려대학교 전기전자전파 공학과 박사과정

• 관심분야: Oxide-semiconductors, Flexible thin film transistors, Device physics