

플렉시블 산화물 박막 트랜지스터 제작을 위한 레이저 박리기술 Laser lift-off technology for flexible oxide thin film transistors

*#김한기¹, 최광혁¹, 최윤영¹

*Han-Ki Kim(imdlhkkim@khu.ac.kr), Kwang-Hyuk Choi¹, Yoon-Young Choi¹

¹ 경희대학교 정보전자신소재공학과

Key words : Laser lift-off(LLO), Flexible Thin Film Transistor(FTFT), Oxide Semiconductors

1. 서론

최근 정보화 기술의 발전에 따라 정보를 전달하거나, 수집, 처리할 수 있는 매체로서 휴대용 정보기기, 디지털 콘텐츠, 인터넷, 멀티미디어, 유무선 통신 기술 등의 융합으로 다양한 정보를 편리하게 전달하는 정보전달 매체로 디스플레이 광전소자의 중요성이 증대되고 있으며, 디스플레이 기술의 진보에 따라 액정 디스플레이 및 플라즈마 디스플레이로 대표되는 평판 디스플레이 산업이 비약적 발전을 이루고 있다. 이러한 평판 디스플레이 시장의 발전은 반도체에 버금가는 신 성장 동력으로 자리 잡게 되었으며, 우수한 기술력을 바탕으로 이를 이용한 새로운 응용분야로의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 정보 전달 및 수집, 처리할 수 있는 새로운 디스플레이로서 가볍고 박형이면서 휴대가 편리하며, 디자인의 자유도가 높은 플렉시블 디스플레이가 각광받고 있다. 이러한 디스플레이 광전소자는 2 차원 적인 형태뿐만 아니라 3 차원적인 형상의 기판으로도 적용되고 있으며 기판의 종류와 상관없이 정보 전달을 위한 매체로 연구/개발되고 있다. 하지만 입체적인 구조에서의 광전소자 구현은 고품위의 TFT 를 구조물 위에 형성시키기가 힘들다는 제한성을 가지며, 특히 고분자 기판을 이용하는 플렉시블 디스플레이와 같이 고온공정이 불가능한 기판의 경우 상온 공정 및 저가의 두 가지 요건을 모두 충족하여야만 양산화 가능성을 제시할 수 있다.

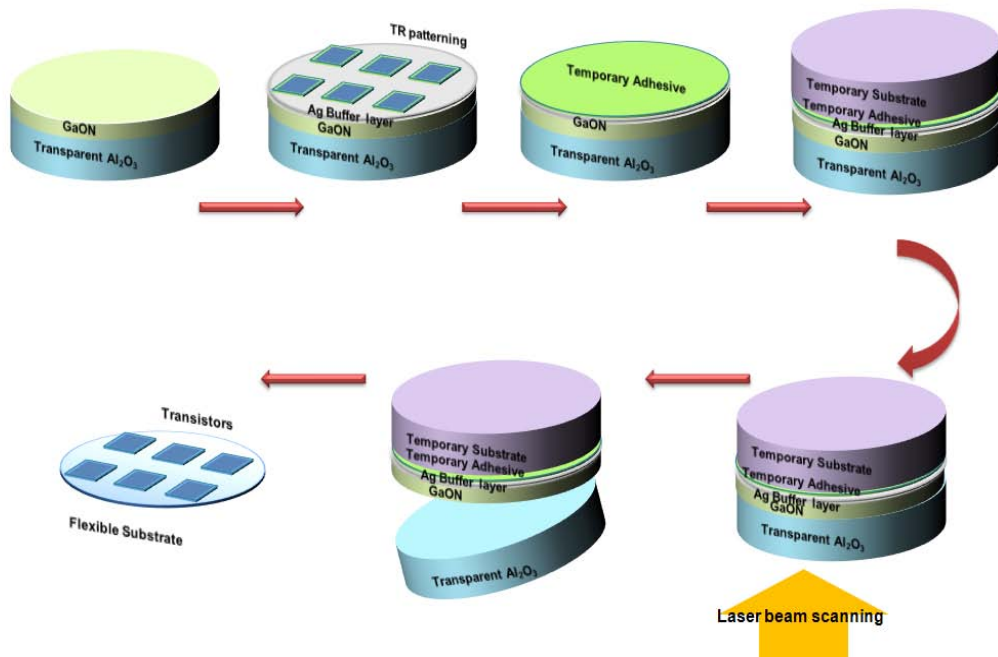
이에 의해 고온 공정이 필요한 고품위 TFT 공정과 고품위 플렉시블 광전소자의 두 가지 요건을 모두 실현시킬 수 있는 방법으로 레이저를 이용하여 고성능의 소자를 모재로부터 분리한 후 요구되는 기판으로 이동시키는 신개념의 기술이 제시되고 있다. 미국 University of Illinois at Urbana-Champaign 의

Rogers 그룹에서 고품위의 TFT 를 기판의 형태와 온도 의존성을 배제할 수 있는 transfer 공정 기술이 단결정 실리콘 기판을 이용한 TFT 소자로부터 제시되었고 bulk 형태의 실리콘 웨이퍼로부터 습식 박리 공정을 통해서 고온 성막된 실리콘 TFT 를 분리하였으며, 더불어 분리된 TFT 소자의 전기적 특성이 우수함을 보고하였다. UC Berkeley 의 Sands 연구실에서는 레이저 박리 기술을 이용하여 수 나노미터 두께의 소자를 분리시키고 LED 에 적용함으로써 기존의 습식 공정에 비해 저렴한 박리 공법을 제안하였다. 이렇듯 레이저 박리 공법의 국내외 선행 연구가 활발히 진행되고 있으나, 값비싼 sapphire 모재 기판의 대체 가능성 및 GaN 희생층 성막에 필수적으로 수반되어온 고온 공정의 대체 가능성을 제시하지 못함으로써 양산화를 위한 뚜렷한 방법은 제시하지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 레이저 박리 공법에 적용되어온 값비싼 sapphire 기판을 대체함과 동시에 레이저 빔의 흡수를 통한 Ga 잔유물 처리 공정을 간소화시킬 수 있는 희생층 형성 기술 및 buffer 층 성막 기술을 스퍼터 공정과 접목함으로써 원천기술 확보 및 양산화 가능성을 타진하고자 하였다.

2. 실험방법

레이저를 이용한 박리 기구는 모재를 통해 입사되는 레이저의 파장이 모재의 밴드갭 에너지보다 작고 흡수층인 희생 물질의 밴드갭 에너지보다 크게 설정됨으로써 희생층이 레이저 입사 에너지를 흡수하고 모재와의 결합이 제거되는데 있다. 기존의 공정에서 모재위에 화학적 기상 증착을 통해 형성된 GaN 희생층을 일반적으로 적용해왔으며 이때



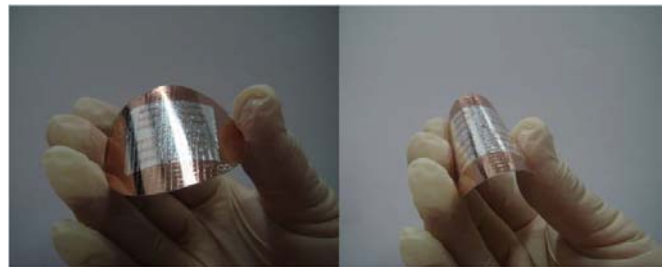
일방향성 성장을 통한 모재와의 전반적인 결합에너지 및 격자상수 차이에 의한 계면 스트레스를 조절하고자 하였다. 레이저 박리 공정에서의 핵심 요소는 입사되는 레이저 조사의 최적화, 입사된 빔의 산란에 의한 손실을 최소화하기 위한 모재 polishing, 레이저 빔을 흡수하는 희생층 성막공정, 모재와 희생층과의 결합 에너지 조절, 소자로의 데미지를 최소화 할 수 있는 buffer 층의 삽입 및 최적화 공정으로 대표될 수 있다. Sapphire 기판 위에 고온공정을 통하여 성막되어진 GaN 희생층 대체를 위해서 스퍼터 시스템을 이용하여 산소 또는 질소를 이용한 반응성 성막공정을 통하여 GaN와 유사한 밴드갭을 가지 Ga₂O₃와 GaO_xN_y 희생층을 성막하였다. 기존의 GaN 희생층은 KrF 레이저에서 248 nm 파장대로 입사되는 레이저 빔의 흡수가 용이한 3.3~3.4eV의 밴드갭을 가짐으로써 모재로부터 입사되는 빔을 효과적으로 흡수할 수 있으며 Ga₂O₃와 GaO_xN_y의 경우 KrF 레이저 빔에서 5 eV 보다 작은 밴드갭 에너지를 가짐과 동시에 비정질 상태로 모재에 성막되어 모재와 희생층 사이의 계면에너지를 높임으로써 낮은 에너지를 이용한 모재/희생층 분리를 유도하였다. 반응성 스퍼터링을 이용한 GaON 희생층의 성막을 위해 Ga₂O₃ 타겟 스퍼터링 공정 중 N₂ 가스를 유입하여 sapphire 기판위에 1 um 두께의 GaON를 성막하였으며, 이때의 인가 전류는 RF 100 W에서 진행하였다. 또한 크랙의 발생 및 전파 시의 에너지 흡수에 따른 응력의 흡수층으로써 금속을 이용한 buffer 층을 적용하고자 Ag 금속을 Ga₂O₃와 GaON 희생층 위에 DC magnetron sputtering을 이용하여 성막하였다.



3. 결과

Ga₂O₃ 와 GaON 두 희생층의 구조적 분석 결과 스퍼터 공정 중의 고 에너지의 플라즈마 입사에 의한 기판으로의 온도 상승이 발생되지 않았음을 확인할 수 있었다. 레이저 조사를 통한 박리 후 SEM 표면 이미지 분석을 통해 600 mJ 의 레이저 빔 강도에서 크랙이 가장 적은 안정된 Ga₂O₃ 박막 표면을 확인하였고, 또한 저온에서 비정질 상태로 성막 되었음에도 불구하고 고온공정으로 성막된 GaN 희생층을 보다 낮은 에너지 밀도에서 공정이 가능하며 크랙 전파에 의한 손실이 상대적으로 적은 것을 확인하였다. 반면 KrF 레이저 빔에 조사에 따라 비정질의 Ga₂O₃ 희생층과 모재 계면에서 발생하는 응력으로 인해 부분적인 크랙의 발생이 여전히 존재하고 있음을 확인하였으며 이후 동일한 조건의

KrF 레이저를 샘플에 입사하여 박리공정에서의 미세 크랙 전파 특성을 확인한 결과, Ag buffer 층의 성막으로 인해 레이저 조사에 따른 Ga₂O₃ 희생층과 모재 사이의 미세 크랙이 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 유추해 볼 때 Ag 금속 박막의 buffer 층으로의 적용은 금속의 강성에 따른 잔류 응력 에너지 흡수뿐만 아니라 에너지 밴드 갭이 없기 때문에 일부 투과된 빔을 희생층으로 재흡수 시킴으로써 박리에너지 및 균일도를 향상 시킬 수 있었음으로 사료되며, 또한 GaON 희생층을 이용한 박리 결과 동일한 1 um 두께로 성막한 Ga₂O₃ 희생층보다 박리 면적 대비 50% 이상의 peel off 가 가능하였음을 확인할 수 있었다. 이는 동일 파장영역에서 빔 에너지 흡수가 효과적으로 발생될과 동시에 모재와 계면간의 에너지가 높음으로, 분리 시의 스트레스가 급격히 감소되었음을 유추할 수 있다.



4. 결론

차세대 고성능 플렉서블 소자를 제작하기 위해선 고분자 기판의 한계를 넘어설 수 있는 새로운 공정 기술이 필요하다. 이를 위해 레이저 박리 공정은 투명한 유리와 같이 투명한 기판 위에 제작된 고성능 소자를 효과적으로 박리할 수 있는 공법으로 차세대 유연 소자 산업의 핵심 기술로 그 중요성이 매우 높다. 본 논문에서는 차세대 핵심 박리 공정으로 각광받고 있는 레이저 박리 공정의 핵심 요소기술인 희생층 재료 성막기술, Ag 버퍼 전극 기술을 레이저 박리 기술 효용성과 이를 통한 레이저 박리 공정의 우수성을 소개한다.

참고문헌

1. T. Ueda et al., "Laser lift-off of very thin AlGaIn film from sapphire using selective decomposition of GaN interlayer", Applied Surface Science, Vol.216, p.512 (2003)
2. H. Ji et al., "Laser lift-off transfer of AlGaIn/GaN HEMTs from sapphire onto Si: A Thermal perspective", Solid-State Electronics, Vol.53, p.526 (2009)
3. T. Wang et al., "Experimental and numerical investigation on GaN/Al₂O₃ laser lift-off technique", Thin Solid Films, Vol.515, p.3854 (2007)