

Laser Sealing of Dye-Sensitized Solar Cell Panels Using V_2O_5 and TeO_2 Contained Glass

Sung Jin Cho and Kyoung Ho Lee[†]

Department of Display Materials Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea
(Received April 3, 2014; Revised April 30, 2014; Accepted May 3, 2014)

V_2O_5 및 TeO_2 함유 유리를 이용한 염료감응형 태양전지 패널의 레이저 봉착

조성진 · 이경호[†]

순천향대학교 디스플레이신소재공학과
(2014년 4월 3일 접수 ; 2014년 4월 30일 수정 ; 2014년 5월 3일 채택)

ABSTRACT

Effective glass frit compositions enabled to absorb laser energy, and to seal a commercial dye-sensitized solar-cell-panel substrate were developed by using V_2O_5 -based glasses with various amounts of TeO_2 substitution. The latter was intended to increase the lifetime of the solar cells. Substitution of V_2O_5 by TeO_2 provided a strong network structure for the glasses via the formation of tetrahedral pyramids in the glass, and changed the various glass properties, such as glass transition temperature (T_g), dilatometric softening point (T_d), crystallization temperature, coefficient of thermal expansion (CTE), and glass flowage without any detrimental effect on the laser absorption property of the glasses. The thermal expansion mismatch ($\Delta\alpha$) between the glass frit and the substrate could be controlled within less than $\pm 5\%$ by addition of 10 wt% of β -eucryptite. An 810 nm diode laser was used for the sealing test. The laser sealing test revealed that the VZBT20 glass frit with 10 wt% β -eucryptite was successfully sealed the substrates without interfacial cracks and pores. The optimum sealing conditions were provided by a beam size of 3 mm, laser power of 40 watt, scan speed of 300 mm/s, and 200 irradiation cycles.

Key words : Laser sealing, Dye-sensitized solar cell, V_2O_5 -based glass frit, TeO_2 substitution

1. 서 론

디스플레이, 광통신용 광도파로, 태양전지 및 바이오 칩과 같이 패널의 접합이 요구되어지는 디바이스 모듈의 경우, 침식성의 주변 환경에 대한 안정성 문제는 반드시 해결되어야 할 과제이다. 유리 자체의 우수한 기밀성과 화학적 안전성에도 불구하고 유리 봉착제의 디스플레이 및 태양전지 디바이스 모듈 등에 적용은 매우 제한적이다.¹⁻³⁾ 일반적으로 유리 봉착제를 이용한 접합 공정은 $\sim 450\text{-}500^\circ\text{C}$ 의 온도에서 이루어지는데, 이러한 높은 봉착온도는 디바이스 모듈을 구성하는 온도 민감성 유기 또는 광학소자에 악영향을 주기 때문이다.⁴⁻⁶⁾

최근에 폴리머소재 패널을 기본으로 구성되어지는 모듈제조에 있어 레이저 봉착(laser sealing or laser welding) 기술이 열적접합을 대신할 기술로 제안이 되었는데, 이 기술은 봉착할 패널사이에 레이저 흡수 성분(carbon black,

CNT 및 기타 안료)이 포함된 봉착제를 적용하고, 이 봉착제가 패널기관을 투과한 레이저 에너지를 흡수하여 국부적인 용융에 의해 패널기관을 봉착시키는 기술이다.⁷⁻¹⁰⁾ 여기서 국부적인 용융이란 주변(용융부위에서 약 2 mm 이상 떨어진 곳)의 온도는 $\sim 150^\circ\text{C}$ 이하로 유지되면서 용융되는 현상을 말한다. 유리 봉착제의 경우에도 femto-second laser를 이용한 연구가 일부 이루어졌으나 봉착면에 기공이나 균열이 발생하는 문제가 보고되었다.¹¹⁻¹³⁾

본 연구에서는 유리 프릿을 이용 염료감응형 태양전지 패널의 봉착 공정시, 봉착된 계면에서 기공 또는 균열의 발생이 없는 성공적인 레이저 봉착을 위하여 레이저 에너지 흡수성분으로 알려진 V_2O_5 를 포함하는 산화물 유리 봉착제를 개발하고 TeO_2 첨가에 대한 유리전이온도(T_g), 유리연화온도(T_d), 열팽창 계수(α), 적심특성 및 레이저 에너지 흡수 특성을 고려하여 최적의 유리조성을 결정하고, 개발된 유리 프릿의 레이저 봉착 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

유리 프릿의 기본조성은 V_2O_5 -BaO-ZnO- B_2O_3 계 조성이

[†]Corresponding author : Kyoung Ho Lee
E-mail : khlee@sch.ac.kr
Tel : +82-41-530-1378 Fax : +82-41-530-1722

다. V₂O₅계 유리는 V₂O₅의 낮은 용융 온도(690°C)로 인해 비교적 낮은 유리전이 온도 및 연화온도를 가지고 있어 저온 소결조제로 사용이 되고 있으며, 근적외선 파장의 흡수가 용이한 물질이다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 낮은 유리전이온도(T_g) 및 연화온도(T_d)를 갖는 레이저 흡수 유리는 낮은 레이저 출력에도 용융이 가능하며, 따라서 국부적 봉착시 주변의 온도를 특정온도 이하로 조절 할 수 있는 장점이 있으나 구조상 낮은 온도에서 결정화가 일어나 흐름성이 감소하는 단점이 있다. 본 연구에서 TeO₂는 V₂O₅계 유리의 결정화 방지 및 적심거동 향상을 위해 첨가되었으며, V₂O₅에 대해 각각 10~40 wt% 범위로 치환하여 첨가하였다. 각 성분의 분말은 순도 99.9% 이상의 reagent급(Kojundo Chemical Laboratory Co., Japan)을 사용하였다. 유리 프린트는 칭량된 배치를 습식혼합과 건조를 거쳐 100g을 백금도가니에 넣은 후, 전기로에서 1100°C에서 30분간 유지하고 급랭시켜 제조하였다.

얻어진 유리의 유리전이온도(T_g), 연화온도(dilatometric softening point; T_d) 그리고 열팽창계수(α)는 Dilatometer (DIL402PC, Netsch, Germany)를 이용하여 10°C/min의 승온 속도로 측정하였다. 측정을 위한 bulk 시편은 용융물을 예열된 흑연몰드에 부어 각 유리조성의 T_g 보다 +50°C 높은 온도에서 30분 유지하고 1°C/min 속도로 냉각하여 내부 응력을 제거한 후 5 mm × 5 mm × 25 mm 크기로 가공하여 사용하였다. 본 실험에서 사용된 상용 염료감응형 태양전지 기판유리는 유리전이온도(T_g)가 약 530°C인 Na₂O-CaO-MgO-SiO₂계 유리(TEC Glass™, Pilkington, USA)를 사용하였다. 유리프리트의 기판유리(TEC Glass)에 대한 적심(wetting) 특성은 자체 제작된 hot stage를 이용하여 10°C/min의 승온 속도로 특정온도까지 올린 후 측정하였다. TeO₂ 첨가에 따른 유리구조 변화는 FT-IR spectrometer(Frontier™, PerkinElmer, USA)를 이용하여 400-2000 cm⁻¹의 범위에서 측정 및 분석하였다.

유리 프리트와 기판유리간의 열팽창계수차이(Δα)를 최소화하기 위해 유리 프리트에 음(-)의 열팽창계수를 갖는 β-eucryptite(Li₂O·Al₂O₃·2SiO₂)를 필러로 10 wt% 첨가하였다. 유리 프리트 및 β-eucryptite 필러의 평균입도(D₅₀)은 각각 1.98 μm 및 4.4 μm이었다. 유리 분말과 필러를 α-terpineol/2-(2-butoxyethoxy) ethyl acetate/ethyl cellulose(99%, Aldrich, USA)로 이루어진 비히클(vehicle)과 함께 3-롤 믹서(50i, EXAKT, Germany)로 혼합하여 페이스트를 제조하고, 250 mesh 스크린으로 Fig. 1과 같은 형태로 상용 태양전지 유리기판위에 프린팅 하였다. Fig. 2에 제조된 페이스트의 열중량 분석(TGA) 결과를 보였다. 최적의 유리 프리트 대 vehicle 함량비는 부피%로 30:70이었으며, 무게%로는 68.46:31.54에 해당된다. TGA 분석결과에서 보면 vehicle 안의 바인더(ethyl cellulose) 및 용매(α-terpineol/2-(2-butoxyethoxy) ethyl acetate)는 292°C에서 거의 모두 제거

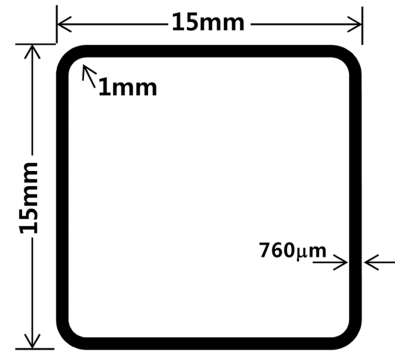


Fig. 1. Geometry of the screen printed glass frit for the laser sealing test.

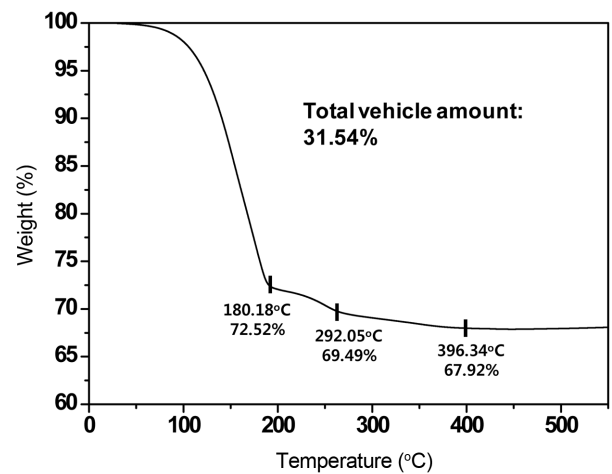


Fig. 2. TGA curve of as-prepared glass paste.

됨을 알 수 있다. TGA 결과를 보면 396°C 근방에서 추가적인 1.6%의 무게감소가 있는데, 이는 milling 공정에서 사용된 poly-propylene jar에서 투입된 소량의 poly-propylene이 제거되는 것으로 보여 진다. 이러한 TGA 결과를 토대로 프린트된 페이스트는 120°C에서 건조 후 300°C에서 2시간 유지하여 유기물을 제거하였으며, 레이저 봉착 실험을 위해 400°C에서 10분간 가소성을 하였다. 400°C에서의 가소성은 잔여 유기물의 완벽한 제거, 인쇄된 프리트에 기계적 강도를 부여하여 전해질 주입을 위한 reservoir 역할 및 패턴 내부의 기공을 제거하여 레이저 봉착과정에서 발생할 수 있는 기공을 최소화하기 위함이다.

가소성이 끝난 유리 프리트는 두께 ~20 μm 및 선폭 ~700 μm을 보였다. 레이저 봉착실험은 파장 810nm 및 최대 출력 100W의 다이오드 레이저(Pearl TKS™, nLight, USA)를 이용하였다. 레이저 봉착실험에서 레이저 빔(beam)은 직경 3 mm로 defocusing하였으며, 레이저 출력(watt), 레이저 조사 속도(scan speed) 및 조사 cycle(irradiation cycle)를 변수로 실행하였다. 개발된 유리 프리트의 레이저

흡수 능력(σ)은 가소성된 유리 프리트에 레이저를 조사하여 유리 프리트를 투과하는 레이저 에너지 값을 energy meter(Field Max II™, Coherent, USA)로 측정하여 계산하였다. 실질적 레이저 봉착 특성은 상용 태양전지 기관사이에 유리프리트를 적용하고, 레이저 봉착 실험 후 기관과 유리 프리트 계면에서의 균열 및 기포 발생 여부를 통하여 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

TeO₂ 첨가에 따른 유리구조 변화에 대한 분석을 FT-IR 을 이용하여 분석하였다. IR spectra를 Fig. 3에 보였고, 관찰된 흡수 피크 밴드(cm⁻¹)를 Table 1에 정리하였다. 먼저 1055 cm⁻¹ 대역의 흡수는 VO₄ 다면체에서 VO₂-group의 stretching에 의한 것이고, 875~892 cm⁻¹ 대역의 흡수는 이제까지 보고된 적이 없는 흡수로 자세한 분석이 필요하다. TeO₂의 첨가에 따라 중요시 되는 흡수대역은 640 cm⁻¹ 대역과 665~668 cm⁻¹ 대역의 흡수이다. 640 cm⁻¹ 대역의 흡수는 TeO₂가 유리구조에서 4 면체 배위인 TeO₄ tetragonal pyramid 형태로 존재함을 의미하고, 665~668 cm⁻¹ 대역의 흡수는 TeO₂가 유리내에서 3배위 다면체인 trigonal

pyramid로 존재함을 나타낸다.¹⁷⁾ TeO₂의 다양한 배위다면체 그림을 Fig. 4에 보였다. 결과 그림 및 표에서 보였듯이, TeO₂가 첨가될수록 640 cm⁻¹ 대역의 흡수가 관찰되어 지는데 이는 TeO₂가 V₂O₅를 치환할 때 그 구조가 TeO₄ tetragonal pyramids 형태 즉 4면체 배위로 이루어짐을 알 수 있다. 또한 665~668 cm⁻¹ 대역의 흡수는 관찰 되지 않고 있어 첨가된 TeO₂가 유리 내에서 3배위 다면체인 trigonal pyramid로는 존재하지 않음을 알 수 있다. Luo 등에 의하면 trigonal pyramid 형태의 TeO₃ 다면체가 존재하면 유리의 견고함이 없어지면서 유리의 용융온도가 낮아짐을 보고하였다.¹⁸⁾ 따라서 본 유리조성에서는 TeO₂의 첨가는 견고한 TeO₄ 다면체를 이루어 결과적으로 유리전이 온도(T_g) 및 연화온도(T_d)의 증가를 예측할 수 있다. TeO₂

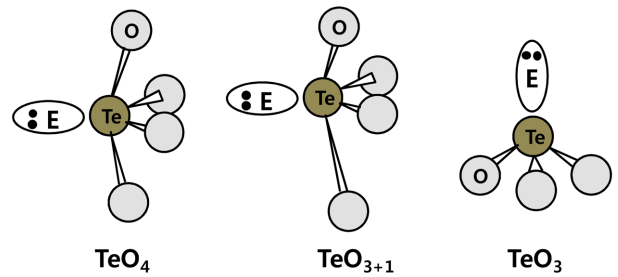


Fig. 4. Various coordination polyhedra of TeO₂.¹⁷⁾

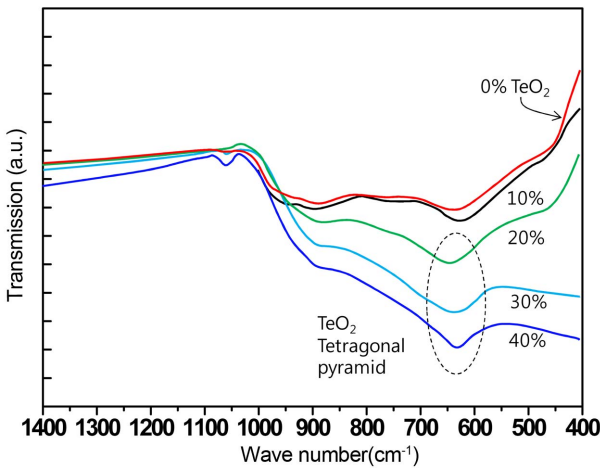


Fig. 3. FT-IR spectra of as-prepared glasses containing 0, 10, 20, 30, and 40 wt% TeO₂.

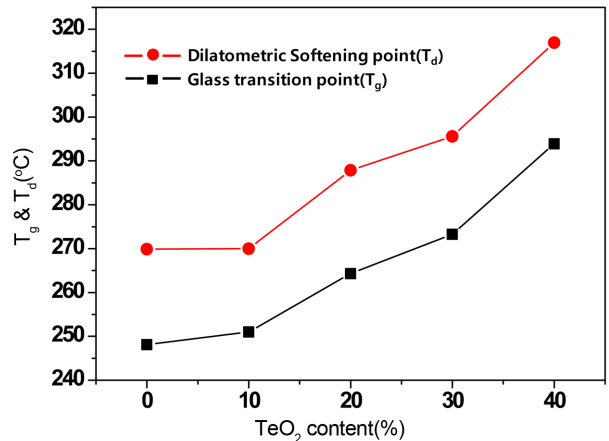


Fig. 5. T_g and T_d of as-prepared glasses as a function of TeO₂ content.

Table 1. Detected IR Absorption Bands (cm⁻¹)

| | IR absorption bands(cm ⁻¹) | | | | | |
|------------------------------------|--|-----|-----|-----------|-------------|------|
| pure TeO ₂ | 583 | | 765 | 819 (815) | 1007 (1020) | 1056 |
| pure V ₂ O ₅ | 463(470) | 600 | | 892 | | |
| 0% TeO ₂ | | 624 | 742 | 886 | | |
| 10% TeO ₂ | | 638 | 748 | 875 | | 1055 |
| 20% TeO ₂ | | 641 | | 885 | | 1080 |
| 30% TeO ₂ | | 642 | | 887 | | 1055 |
| 40% TeO ₂ | 463 | | | | | |

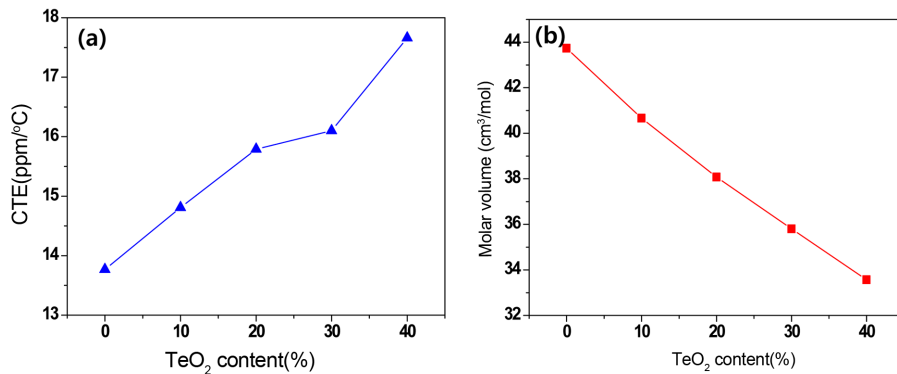


Fig. 6. CTE and molar volume change of as-prepared glasses as a function of TeO₂ content.

첨가에 따른 유리전이온도(T_g) 및 연화온도(T_d) 변화를 Fig. 5에 보였다. TeO₂의 첨가에 따른 유리구조의 견고성 증가는 유리전이 온도(T_g) 및 연화 온도(T_d)의 증가를 가져왔다. 그러나 최대 40%의 TeO₂ 첨가 범위에서 유리전이온도(T_g)는 293°C 그리고 연화온도(T_d)는 315°C로 비교적 낮은 유리전이온도(T_g) 및 연화온도(T_d)를 갖는 유리가 제조되었다. TeO₂ 첨가에 따른 유리시편들의 열팽창 계수(α) 및 몰 부피 변화를 Fig. 6에 보였다. TeO₂의 첨가는 열팽창 계수(α)의 증가 및 몰부피의 감소를 가져왔다. 일반적으로 재료의 열팽창이란 재료 구성 이온들의 열적 진동에 따른 평균 이온간의 거리증가가 거시적인 재료의 길이변화로 나타나지는 것으로, 만일 유리의 구조 내부에 빈 공간이 존재하는 경우 이온들의 진동이 유리 내부공간에서 흡수되어 작은 열팽창 계수(α) 값을 갖는다. 반대로 치밀한 유리구조를 갖는 경우, 이온의 열진동이 내부에서 흡수됨 없이 유기적으로 진행되어 큰 열팽창 계수(α) 값을 갖는다. TeO₂의 첨가에 따른 유리의 몰부피 감소는 유리구조의 치밀화를 의미하고, 이러한 치밀화가 열팽창 계수의 증가를 가져온다고 사료된다.

TeO₂의 첨가는 또한 V₂O₅-BaO-ZnO-B₂O₃계 유리의 적심특성을 변화시켰다. 제조된 유리의 TeO₂ 치환량 및 온도변화에 따른 염료감응형 태양전지 상용기판과의 적심상태를 Fig. 7에 보였다. 20% TeO₂ 첨가에서 가장 우수한 흐름성을 보이고 있으며, TeO₂의 첨가가 40%인 경우 표면결정화로 인해 흐름성이 방해받음을 알 수 있다. TeO₂가 첨가된 유리시편들의 DSC 분석결과를 Fig. 8에 보였다. 치환이 없는 순수 V₂O₅-BaO-ZnO-B₂O₃계 유리의 경우 355°C에서 ZnV₂O₆ 및 BaV₂O₆상들의 결정화가 일어났으며 이러한 결정화에 의해 흐름성이 없이 500°C까지 적심이 일어나지 않았다. 20% TeO₂의 첨가는 유리의 결정화를 방지하여(결정화 온도는 530°C이고 XRD 분석 결과 결정상이 관찰되지 않음) 기판과의 우수한 적심($\theta \sim 15^\circ$)을 보였다. 그러나 과도한 TeO₂의 첨가(40% 치환)의 경우 다시 결정화를 촉진시켜(결정화 온도 515°C, 주결정상

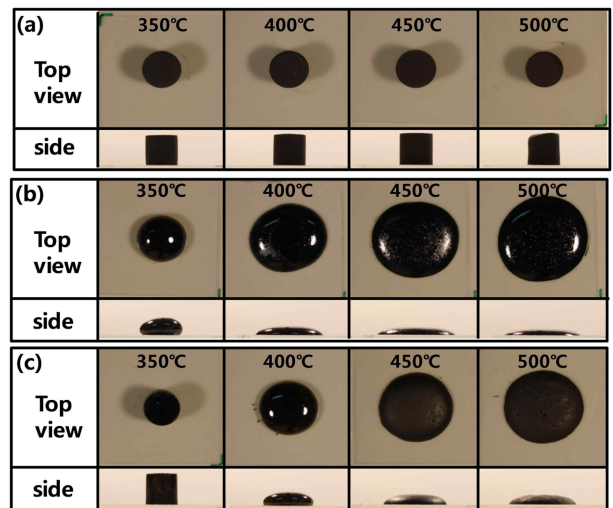


Fig. 7. Wetting behaviors of glasses containing 0, 20, and 40 wt% TeO₂ on a commercial glass substrates.

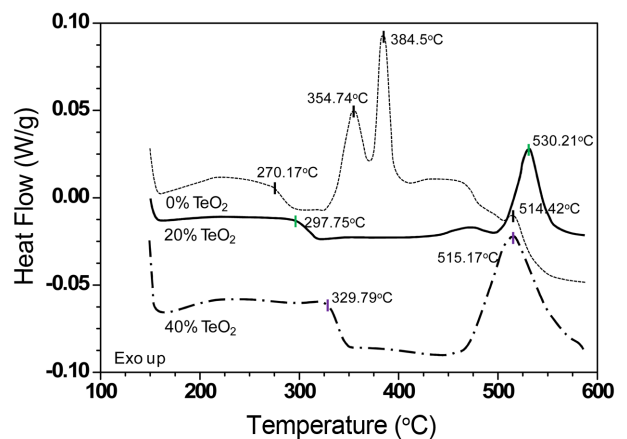


Fig. 8. DSC curves of glasses containing 0, 20, and 40 wt% TeO₂.

BaTeO₃) 적심이 20% 첨가에 비해 방해되는 결과를 보였다. TeO₂ 첨가에 따른 유리의 레이저 흡수특성은 기판에

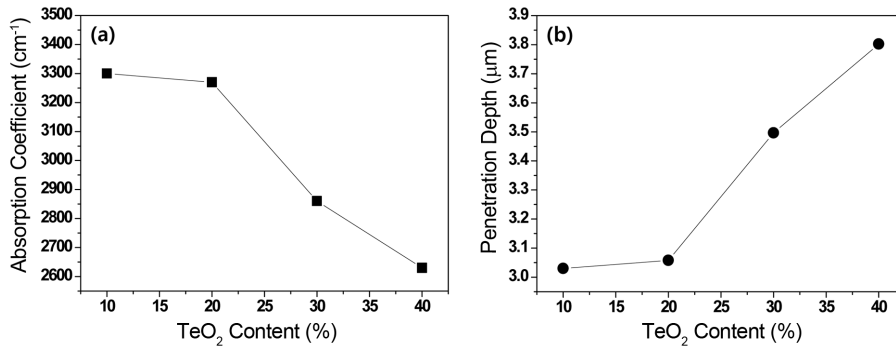


Fig. 9. (a) Laser absorption coefficient and (b) laser penetration depth calculated for the laser irradiation as a function of TeO₂ content.

Table 2. Summary of the Important Properties of the VZBT20 Glass

| T _g (°C) | T _d (°C) | Crystallization Temperature (°C) | CTE (ppm/°C) | Absorption coefficient (cm ⁻¹) | Penetration depth (μm) |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------------|--|------------------------|
| 264.4 | 287.9 | 530.2 | 15.8 | 3270 | 3.06 |

20 μm로 프린팅 된 유리 프린트의 레이저 투과도를 측정하여 Beer's의 식에 의해 흡수 계수(σ) 및 레이저 침투 깊이(1/σ)를 계산하였고 그 결과를 Fig. 9에 보였다.¹⁹⁻²⁰⁾

$$\sigma = \left(-\frac{1}{t}\right) \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

위의 식에서 σ = 흡수계수, I₀ = 레이저 초기 intensity, I = 투과된 레이저 Intensity, 그리고 t = 프린트의 두께이다. TeO₂의 첨가에 따라 흡수계수는 3300 cm⁻¹ ~ 2630 cm⁻¹ 값을 보였다. 계산된 유리 프린트의 흡수계수 값은 보고된 고분자기판의 레이저 접합공정에서 사용되는 카본 블랙의 흡수계수(< 500 cm⁻¹)보다 높은 값이다.¹⁰⁾ 이는 본 연구에서 개발된 유리 프린트의 경우 상대적으로 낮은 레이저 출력에서 용융이 가능함을 나타내고 있다. Fig. 9(b)는 흡수 계수로부터 계산된 레이저 침투 깊이(1/σ)이며, 침투깊이는 레이저 빔 에너지가 그 깊이에서 열에너지로 변환됨을 말해준다. TeO₂ 첨가량 증가에 따른 흡수계수의 감소 및 침투깊이의 증가는 제조된 유리의 구성 성분 중 V₂O₅가 주요 레이저 흡수 성분임을 말해주고 있다. 그러나 프린트의 두께가 20 μm임을 감안하면 40%의 TeO₂ 첨가에도 침투깊이가 3.8 μm로 프린트 내부에서 레이저 에너지가 흡수됨을 알 수 있다.

레이저 봉착 실험을 위한 최적의 프린트 조성은 (1) 낮은 레이저 출력에 필요한 낮은 유리전이온도(T_g) 및 연화온도(T_d), (2) 접합시 응력발생의 최소화를 위한 태양전지 기판과의 열팽창 계수 매칭성(Δα), (3) 봉착에 필요한 기판과의 적심성, 그리고 (4) 레이저 흡수 특성 등을 고려하여 TeO₂가 20% 첨가된 유리조성(이하 VZBT20이라 칭함)을 레이저 봉착용 유리 프린트 조성으로 결정하였다. 측정

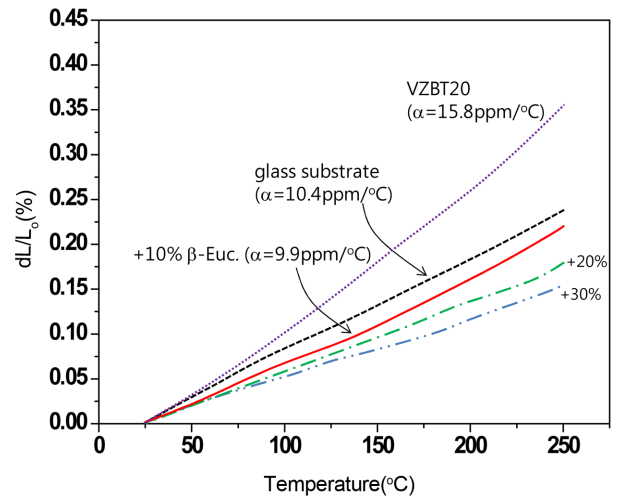


Fig. 10. Thermal expansion curves of the β-eucryptite added VZBT20 glasses.

된 VZBT20 유리의 특성을 Table 2에 정리하였다. VZBT20의 특성 중 열팽창 계수는 15.9 ppm/°C로 상용 태양전지 패널용 기판유리의 열팽창계수(10.4 ppm/°C)와 차이가 있고 이러한 열팽창 계수의 차이(Δα)는 레이저 접합이 이루어지는 동안 또는 접합 후에 열응력 발생으로 인한 모듈의 파괴를 일으킬 수 있다. VZBT20 유리의 열팽창 계수는 음의 열팽창 계수값을 갖는 β-eucryptite(Li₂O·Al₂O₃·2SiO₂)의 첨가로 감소시킬 수 있다. Fig. 10에 β-eucryptite 첨가에 따른 VZBT20 유리의 열팽창 거동의 변화를 보였다. 10 wt% β-eucryptite의 첨가에서 VZBT20 복합체의 열팽창 계수(α)는 9.9ppm/°C를 보였고, 염료감응형 태양전지 패널 기판과의 열팽창 계수차(Δα)를 ±5% 이

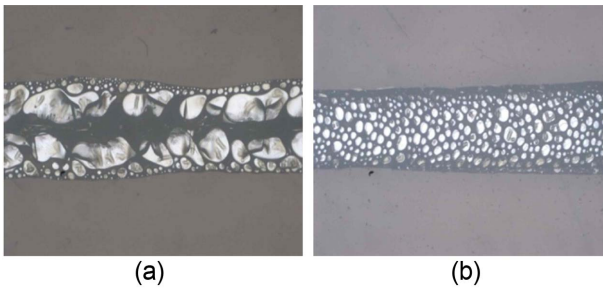


Fig. 11. Optical micrographs of the laser sealed glass panels with (a) laser power; 15 W, scan speed; 3 mm/s, irradiation cycle; 1 and (b) laser power; 20W, scan speed; 3 mm/s, irradiation cycle; 1.

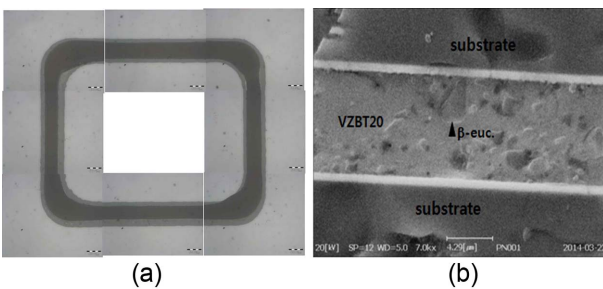


Fig. 12. (a) Optical micrograph of the laser sealed glass panel with laser power; 40 W, scan speed; 300 mm/s, and irradiation cycle; 200 and (b) SEM micrograph of a cross section of the laser sealed panels showing no pores and cracks.

내로 조절할 수 있었다.

레이저 봉착 실험은 Fig. 1에서 보인 규격으로 test coupon을 제작하여 수행하였다. 본 실험에서 사용된 $\lambda = 810 \text{ nm}$ diode laser의 에너지 밀도는 레이저 빔 (beam)의 중심에서 가장자리로 갈수록 에너지가 감소하는 gaussian 분포를 보인다. 따라서 빔 내부의 에너지 밀도차이를 줄이고자 beam size를 3 mm로 defocusing하였고, 레이저의 출력(watt), 레이저 조사속도(scanning speed) 및 조사 cycle(irradiation cycle)를 변수로 수행하였다. 일반적인 레이저 봉착은 조사속도를 10 mm/s 이하로 1회 cycle로 행하여진다. Fig. 11에 레이저 출력을 15 ~ 20 watt 범위에서 조사속도를 3 mm/s로 1회 조사한 후 봉착부분을 광학현미경으로 관찰한 사진을 보였다. 조사속도가 느린 경우 봉착계면에서 많은 기포 및 균열이 발생하였다. 봉착시 계면에서의 기포 및 균열의 발생은 최적의 레이저 출력값, 조사속도 및 조사회수의 조합으로 해결 할 수 있었다. Fig. 12에 고출력(40watt) 및 빠른 조사속도(300mm/s)에서 조사 cycle을 200회 진행한 후 봉착부위를 광학현미경 및 SEM으로 관찰한 사진을 보였다. 패턴에서 상대적으로 검은 부위가 레이저에 흡수로 용융되어 접착이 이루어진 부위이다. Fig. 12(b)에 보인 것처럼 봉착이 이루어진 부위

에 기공이나 균열의 발생은 보이지 않았다.

4. 결 론

V₂O₅계의 유리는 TeO₂의 치환으로 유리구조의 안정성을 가져와 결정화 저하로 인해 흐름성이 향상되었다. TeO₂ 치환은 V₂O₅계 유리가 갖는 낮은 유리전이 온도(T_g) 및 연화온도(T_d) 그리고 높은 레이저 흡수계수(σ) 특성에 큰 영향을 미치지 않았으며, 비교적 낮은 레이저 출력에서도 용융이 일어날 수 있었다. TeO₂가 20 wt% 치환된 유리조성인 VZBT20의 열팽창 계수(α)는 15.8 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 로 상용 유리 기판의 열팽창 계수($\alpha = 10.4 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$)와 큰 차이를 보였으나, 이는 VZBT20에 β -eucryptite를 10 wt% 첨가하여 열팽창계수 차이($\Delta\alpha$)를 $\pm 5\%$ 이내로 조절할 수 있었다. VZBT20의 높은 흡수계수($\sigma = 3270 \text{ cm}^{-1}$) 및 낮은 유리전이온도 및 연화온도로 인해 레이저 출력을 15 W로 프린트에 조사하는 경우 프린트의 용융이 일어났다. 연구결과 레이저 흡수가 용이한 유리 프린트의 레이저 봉착을 위해서는 레이저 출력, 조사속도 및 조사회수가 유기적으로 조절 되어야 함을 알 수 있었다. 낮은 출력, 낮은 조사속도 및 적은 조사회수에서는 비록 봉착이 이루어졌으나 많은 기포 및 균열이 발생하였고, 높은 조사속도에서는 (높은 조사속도는 상대적으로 높은 레이저 출력과 조사회수가 요구 됨) 균열 및 기포 발생 없이 성공적인 봉착이 이루어졌다. VZBT20 유리를 이용한 염료감응형 태양전지 기판 봉착을 위한 최적의 조건은 레이저 출력; 40 watt, 조사속도; 300 mm/s 및 조사 cycle; 200회 이었다.

Acknowledgment

이 논문은 순천향대학교 교수 연구년제 지원에 의하여 연구하였음.

REFERENCES

1. J. Y. Lee, B. Bhattachara, Y. H. Kim, H. T. Jung, and J. K. Park, "Self Degradation of Polymer Electrolyte Based Dye-Sensitized Solar Cells and Their Remedy," *Solid State Commun.*, **149** [7-8] 307-09 (2009).
2. H. L. Lu, T. F. Shen, S. T. Huang, Y. L. Tung, and T. K. Yang, "The Degradation of Dye Sensitized Solar Cell in the Presence of Water Isotopes," *Sol. Energy Matter. Sol. Cells*, **95** [7] 1624-9 (2011).
3. D. Faidel, W. Behr, S. Gross, and U. Reisgen, "Glass Sealing Materials and Laser Joining Process Developed for Fuel Cell Stack Manufacturing," *Materialwiss. Werkstofftech.*, **41** [11] 914-24 (2010).
4. Y. H. Jeon, J. H. Hwang, T. Y. Lim, Z. S. Ahn, and H. L. Lee, "Characterization of Residual Stress and Pore Distribution in Sealed Area of Large PDP Panel," *Mol. Cryst.*

- Liquid Cryst.*, **470** [1] 383-91 (2007).
5. R. Grunwald and H. Tributsch, "Mechanisms of Instability in Ru-Based Dye-Sensitization Solar Cells," *J. Phys. Chem. B*, **101** [14] 2564-75 (1997).
 6. Z. Zhou, J. He, L. S. Liao, M. Lu, X. M. Ding, X. Y. Hou, Y. M. Zhang, X. Q. He, and S. T. Lee, "Real-Time Observation of Temperature Rise and Thermal Breakdown Processes in Organic LEDs Using an IR Imaging and Analysis System," *Adv. Mater.*, **12** [2] 265-69 (2000).
 7. C. Leong and D. D. L. Chung, "Carbon Black Dispersions as Thermal Pastes That Surpass Solder in Providing High Thermal Contact Conductance," *Carbon*, **41** [13] 2459-69 (2003).
 8. M. Speka, S. Matěj, M. Pilloz, and M. Ilie, "The Infrared Thermography Control of the Laser Welding of Amorphous Polymer," *NDT and E Int.*, **41** [3] 178-83 (2008).
 9. P. Jaeschke, D. Herzog, H. Haferkamp, C. Peters, and A. S. Herrmann, "Laser Transmission Welding of High-Performance Polymers and Reinforced Composites - A Fundamental Study," *J. Reinf. Plast. Compos.*, **29** [20] 3083-94 (2010).
 10. M. Chen, G. Zak, and P. J. Bates, "Effect of Carbon Black on Light Transmission in Laser Welding of Thermoplastics," *J. Mater. Process. Technol.*, **211** [1] 43-7 (2011).
 11. F. Ribeiro, J. Macaira, R. Cruz, J. Gabriel, L. Andrade, and A. Mendres, "Laser Assisted Glass Frit Sealing of Dye-Sensitized Solar Cell," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **96** [1] 43-9 (2012).
 12. A. L. Stepanov, "Laser Annealing Induced Melting of Silver Nanoparticles in a Glass Matrix," *Tech. Phys. Lett.*, **34** [12] 1014-7 (2008).
 13. V. Koubassov, J. F. Laprise, F. Theberge, E. Foster, R. Sauerbrey, B. Muller, U. Glatzel, and S. L. Chin, "Ultrafast Laser-Induced Melting of Glass," *Appl. Phys. A*, **79** [3] 499-505 (2004).
 14. C. Zhang, R. Zuo, Q. Sun, Z. Hu, and J. Zhang, "Microwave Dielectric Properties and Low Temperature Sintering of The ZnO-V₂O₅ Doped Ba₃Ti₂(Mg_{1/3}Nb_{2/3})₂Nb₄O₂₁ Ceramics," *Ceram. Int.*, **39** [5] 5675-79 (2013).
 15. A. Y. Borisevich and P. K. Davies, "Effect of V₂O₅ Doping on the Sintering and Dielectric Properties of M-Phase Li_{1+x-y}Nb_{1-x-3y}Ti_{x+4y}O₃ Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, **87** [6] 1047-52 (2004).
 16. B. G. Aitken, J. P. Carberry, S. E. DeMartino, H. E. Hagy, L. A. Lamberson, J. M. Richard, R. Morena, J. F. Schroeder, A. Streltsov, and S. Widjaja "Glass Package that is Hermetically Sealed with a Frit and Method of Fabrication," U. S. Patent No. 7407423, 2008.
 17. A. El-Moneim, "DTA and IR Absorption Spectra of Vanadium Tellurite Glasses," *Mat. Chem. Phys.*, **73** [1-2] 318-322 (2002).
 18. S. Luo, W. Xu, X. Zhang, and L. Huo, "Structure and Low melting Property of Vanadate Tellurite Glass," *Mat. Sci. Forum*, **663-665** 1229-33 (2011).
 19. R. W. Ricci, M. A. Ditzler, and L. P. Nestor, "Discovering the Beer-Lambert Law," *J. Chem. Educ.*, **71** [11] 983-85 (1994).
 20. B. Acherjee, A. S. Kuar, S. Mitra, and D. Misra, "Effect of Carbon Black on Temperature Field and Weld Profile During Laser Transmission Welding of Polymers: A FEM Study," *Opt. Laser Technol.*, **44** [3] 514-21 (2012).