Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 29, No. 12, pp. 786-790 December 2016
DOI: http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.12.786
ISSN 1226-7945 (Print), 2288-3258 (Online)

카본을 첨가한 LTCC 그린 시트에서 UV 레이저를 이용한 미세 홀 터짐 현상 제어

김시연[1], 안익준[2], 여동훈[2,a], 신효순[2], 윤호규[1]
[1] 고려대학교 신소재공학부
[2] 한국세라믹기술원 엔지니어링세라믹센터

Control of Explosion Behavior in Micro Hole Using UV Laser on LTCC Green Sheets Containing Carbon Particles

Shi Yeon Kim[1], Ik-Joon Ahn[2], Dong-Hun Yeo[2,a], Hyo-Soon Shin[2], and Ho Gyu Yoon[1]
[1] Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea
[2] Engineering Ceramic Center, Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Icheon 17303, Korea

(Received November 2, 2016; Revised November 15, 2016; Accepted November 21, 2016)

Abstract: Hole explosion behaviors were observed during drilling fine holes with laser beam on the LTCC green bar of 320 ㎛ thick after lamination of green sheets prepared by tape casting of thick film process. The incidence of these hole explosions was inversely proportional to hole sizes. The incidence of hole explosion was 20 % number of hole with the size of 60 ㎛ exploded for the UV radiation, while the explosion did not appear for hole sizes over 100 ㎛. To prevent hole explosion behavior during laser-drilling of fine holes, carbon black powder was added as an additive in the LTCC composition, which has superior thermal durability. As a consequence, hole explosion rate was suppressed to 0.8 % for the hole size of 50 ㎛ green sheet with the carbon black amount of 10 weight % and the laser power of 3 watt. Added carbon is thought to reduce the heat-affected region during laser drilling.

Keywords: UV-laser, Hole explosion behavior, Carbon black powder, LTCC green sheets

1. 서 론

반도체 칩 검사장비의 핵심장치인 수직형 프로브카드는 반도체 산업의 발전과 더불어 그 중요성이 증가하고 있다. 특히, 반도체 웨이퍼와 검사 장비를 연결하는 프로브 핀을 고정하는 가이드 플레이트에는 치수안정성이 우수하고 강도가 높은 세라믹이 적용되고 있다 [1,2]. 이때 사용되는 세라믹 기판에는 수십 ㎛의 미세 홀이 정밀하게 천공되어야 하므로 가공성이 뛰어난 머신러블 세라믹 기판이 사용된다. 하지만 수많은 미세 홀들을 정밀하게 가공하기 위해서는 오랜 시간과 많은 비용이 소요된다는 단점이 있다 [3]. 이런 점을 보완하기 위해 세라믹 기판에 무수축 소성 기술을 적용하여 홀의 위치 정밀도를 증진시키고 [4,5], 소결하기 전단계인 그린 시트 상태에서 미세 홀을 천공하여 공정시간을 단축하기 위한 공정기술이 연구되고 있다.

이러한 공정기술이 구현되기 위한 현재 문제점은 다

a. Corresponding author; ydh7@kicet.re.kr

Copyright ©2016 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

음과 같이 크게 2가지가 있다. 그 중 하나는 기판 상부 홀(hole) 크기에 비해 하부 홀 크기가 줄어드는 테이퍼(taper) 현상이고, 다른 하나는 홀의 크기가 비정상적으로 크게 천공되는 홀 터짐(hole explosion) 현상이다. 이러한 현상은 레이저를 이용하여 입자들을 증발 및 기화시켜 홀을 천공하는 과정에서 발생하게 된다 [6-8]. 이때 시트의 열전도도 특성이나, 시트 두께 등은 테이퍼나 홀 크기에 많은 영향을 미친다. 테이퍼 현상의 경우 여러 연구들에 의해 보고되어 왔으며, 그 원인은 시트의 윗면에서 아랫부분으로 갈수록 레이저 열에너지가 침투되는 양이 줄어들기 때문이라는 주장이 가장 설득력 있는 것으로 알려져 있다 [9]. 하지만, 여전히 그린 시트 상태에서 자주 발생하는 홀 터짐 현상의 원인은 잘 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 그린 시트의 열전도 특성을 조절하기 위하여 카본분말을 첨가한 그린 시트를 제조하였다. 카본분말 함량에 따른 그린 시트의 열전도도를 측정하고, 그린 시트 두께를 고정한 조건에서 카본분말 함량에 따른 홀 터짐 현상 발생빈도를 측정하였다. 이들 결과들을 바탕으로 천공시 발생하는 그린 시트의 홀 터짐 현상의 원인을 규명하고 문제 해결에 참고가 되는 정보를 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

LTCC 그린 시트를 제작하기 위해서, 평균 입도 4.6 ㎛ anorthite 결정화 글라스와 평균 입도 1.78 ㎛ 상용 Al_2O_3 (AES-11, Sumitomo, Japan) 파우더를 6.5:3.5 비율로 혼합한 후 슬러리를 제조하였다. 같은 조건에서 열전도도가 다른 시트를 제작하기 위하여 모조성에 카본 파우더를 각각 1 wt%, 5 wt%, 10 wt% 첨가하여 슬러리를 제조하였다. 이때 용매는 톨루엔(99.5%, Daejung chemical and metals Co. Ltd., Korea)과 에탄올(95.0%, Daejung chemical and metals Co. Ltd., Korea)을 6:4의 비율로 혼합하고, 분산제 BYK-111 (BYK Chemical, Germany)를 0.6 wt%를 첨가하여 분산성을 확보하였다. 결합제는 PVB (poly vinyl butyral, BM-SZ, Sekisui, Japan)를 사용하였다. DBP (dibutyl phthalate, Dajung Chemical and Metals Co. Ltd., Korea)를 가소제로 사용하였으며, 그 비율은 (P/B ratio) 0.4, 바인더 함량은 35 vol%를 첨가하여 슬러리를 제조하였다. 얻어진 슬러리는 잔류기포를 제거하기 위하여 20분 동안 탈포하였으며, 24시간 동안 20 rpm 속도로 안정화 과정을 거친 후 comma coater (coating machine, INNOSYM, Korea)를 이용하여 2 m/min 속도에서 시트 형태로 성형하였다. 건조 온도는 20~80℃ 범위에서 건조하였으며, LTCC 시트 두께는 40 ㎛로 성형하였다. 이렇게 제조된 시트 10장을 적층 및 압착하여 두께 320 ㎛의 LTCC 그린바를 얻었다.

분말 입자 크기는 입도분석기(Masterizer S, Malvern, USA)를 이용하여 측정하였으며, 파우더 형상은 주사전자현미경(JSM 6700F, JEOL, Japan)을 이용하여 분석하였다. 그린 시트의 열전도도는 Thermal transient tester (T3Ster, MicReD Inc., Hungary)의 보조 장비인 DynTiM (dynamic thermal characterization of thermal interface materials)으로 측정하였으며, 터진 홀의 개수는 광학현미경을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

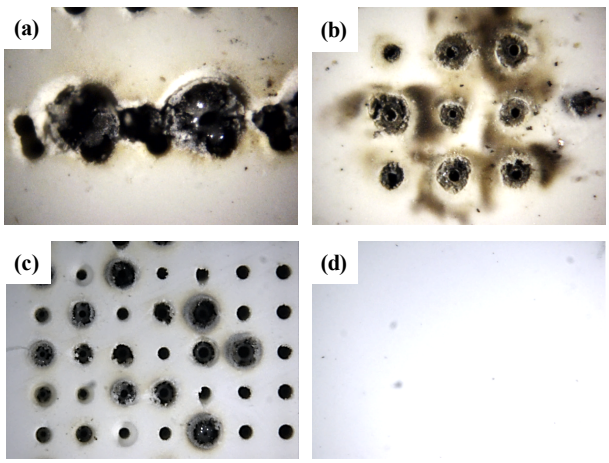

Fig. 1. Photos of LTCC green sheet with hole fabricated by UV-Laser drilling; (a) and (b) for the cases of fully-drilled green sheets, and (c) and (d) for those of half-drilled green sheets. (a) and (c) are showing the front sides, and (b) and (d) are for the back side of green sheets.

그림 1은 그린 시트 천공 시 발생하는 홀 터짐 형상을 보여준다. 이러한 현상은 레이저를 이용하여 증발 및 기화시켜 홀을 천공하는 과정에서 발생하게 된다 [6-8]. 그림 1(d)에서 보는 바와 같이 홀을 시트의 밑부분까지 천공하기도 전에 터짐 현상이 발생하는 것으

로부터 홀 천공 과정에서 터짐 현상이 생긴다는 것을 알 수 있다. 이 홀 터짐 현상은 레이저 조사 시 열 영향구역에서 글라스와 유기물들이 레이저 열 영향구역의 높은 열에 의해 용해 된 후 다시 굳어지는 과정에서 부피 변화를 일으킨 것으로 판단된다 [10]. 천공 홀 크기에 따른 열 집중 정도의 변화에 따른 터짐 현상 발생 빈도를 확인하여 열이 집중 될 경우 실제로 폭발 현상이 더 많이 발생하는지를 간접적으로 확인하였다.

그림 2는 홀 사이즈에 따른 터짐 현상 발생 빈도를 나타내었다. 전체적으로 홀 사이즈가 작아짐에 따라 홀 터짐 현상도 증가하였으며, 홀 사이즈 60 ㎛ 이하인 경우 터지는 홀의 개수가 20% 이상으로 확인되었다. 이러한 경향은 홀 사이즈가 작아짐에 따라 레이저의 열 영향 구역이 좁은 영역의 레이저 초점 주변으로 집중되기 때문에 터짐 현상이 증가하는 것으로 판단된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 내열성이 좋고 열전도도가 높아 열을 분산할 수 있는 카본파우더를 첨가하고 내열성의 변화에 따른 터짐 현상의 발생빈도를 확인하였다.

그림 3은 카본 함량에 따른 열전도도와 터짐 현상 발생빈도를 나타내었다. 카본 파우더 첨가량이 증가함에 따라 터짐 현상은 급격히 감소함을 확인할 수 있으나, 열전도도는 카본 파우더 첨가량이 제한되어 있기 때문에 급격한 증가는 일어나지 않았다. 그러나 이들 사이에는 연관성이 매우 높다는 것을 간접적으로 확인할 수 있다.

위의 결과들로 보아 열 영향구역에 따른 홀 터짐 현상의 모식도를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 카본을 첨가하지 않은 LTCC 시트의 경우 열전도성이 떨어지기 때문에 좁은 영역에서 열 영향을 많이 받아 유기물이나 글라스의 부피 변화가 심하게 발생하는 것으로 사료된다. 그림 4(b)는 카본을 첨가한 경우로, 이때 열전도성이 우수한 카본이 열 영향 구역의 반경을 줄여 열 영향을 적게 받아 홀 터짐 현상이 억제되는 것이다.

실제로 카본 함량에 따른 영향을 확인해보기 위하여 LTCC 파우더에 카본 파우더를 1 wt%, 5 wt%, 10 wt%를 각각 첨가한 후 50~150 ㎛ 크기의 홀을 천공 후 터짐 현상이 나타나는 빈도수를 그림 5에 나타내었다.

레이저 출력을 1 watt로 홀을 천공한 경우 카본 파우더 첨가량이 1 wt%, 5 wt%에서는 직경 50 ㎛ 홀을 천공 시 홀 터짐 빈도수는 20% 정도이며, 카본 파우더를 10 wt% 첨가 시 터짐 빈도수는 6.4%로 크게 줄었다. 마찬가지로 레이저 출력이 2 watt로 홀 천공 시 카본 파우더 첨가량이 증가할수록 터짐 현상이 줄어드

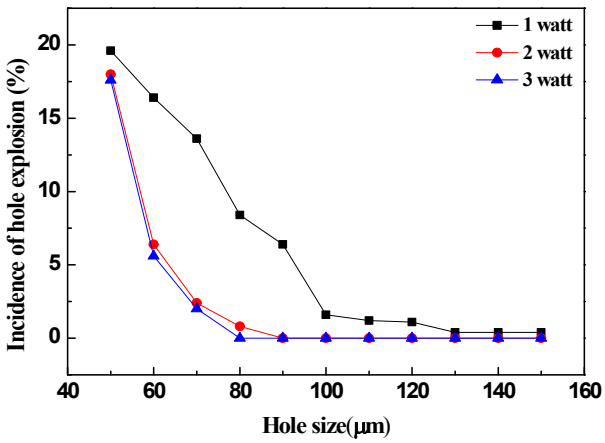

Fig. 2. Incidence of hole explosion for the variation of hole size with different UV power radiation.

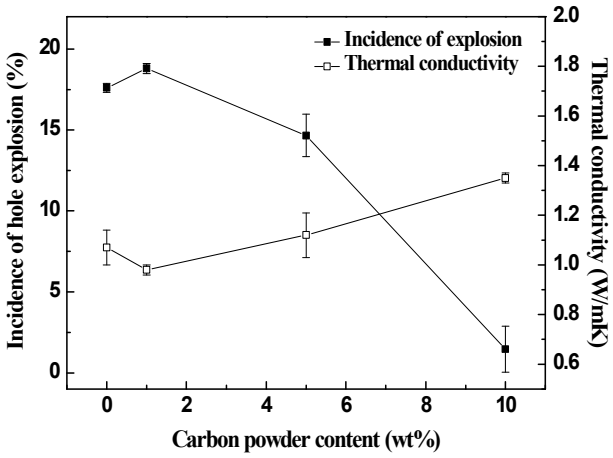

Fig. 3. Effect of carbon powder addition on the thermal conductivity and the hole-explosion incidence of green sheets.

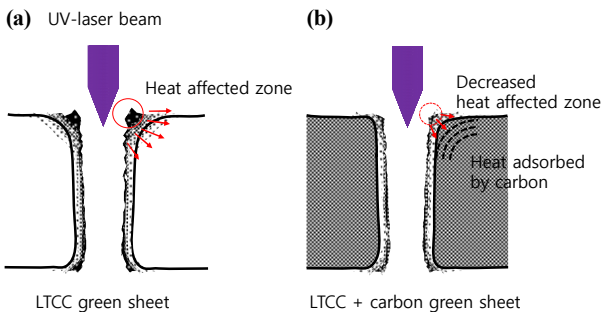

Fig. 4. Schematic of hole formation by UV-laser radiation; (a) for the pure LTCC green sheet, and (b) for the carbon black added green sheet.

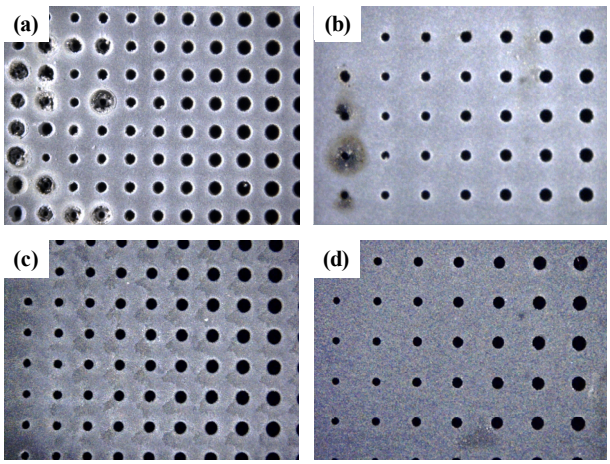

Fig. 5. Incidence of hole explosion for the different hole size with the different laser powers and carbon amounts.

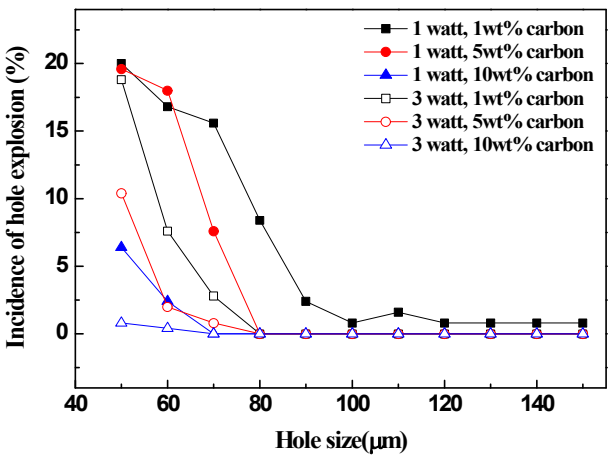

Fig. 6. Photos of green sheet with hole for the different amount of carbon addition. (a) and (b) for the cases of 1 wt% of carbon addition, and (c) and (d) for those of 10 wt%. (a) and (c) are showing the front sides, and (b) and (d) are for the back sides of sheets.

는 경향을 보였다. 레이저 출력이 3 watt 경우에는 직경 50 ㎛ 홀에서 카본 파우더 첨가량이 1 wt%인 경우는 18.8%의 발생빈도수를 보였고, 카본 파우더 첨가량이 5 wt%를 첨가한 경우 터짐 현상 빈도수는 10.4%, 카본 파우더 첨가량이 10 wt%인 경우에는 0.8%로 크게 줄었다. 1 watt와 3 watt를 비교해보면, 출력이 낮을수록 터짐 현상 홀 개수가 늘어나는 것은 낮은 출력의 레이저로 홀을 천공하는 경우 레이저가 조사되는

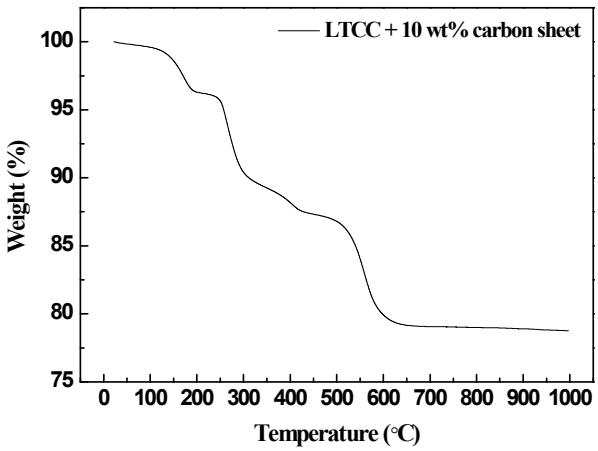

Fig. 7. TGA data of 10 wt% carbon added LTCC green sheet.

시간이 늘어나게 되어 글라스와 유기물이 열의 영향을 받는 시간이 충분히 증가했기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 카본을 충분히 첨가한 경우 이러한 열 영향을 최소화 시키는 효과 때문에 홀 터짐 현상을 억제할 수 있을 것으로 판단된다. 실제로 그림 6과 같이 카본을 10 wt% 첨가하여 천공한 경우 터짐 현상이 나타나지 않는 것을 확인 할 수 있다.

터짐 현상을 제어하기 위하여 첨가하는 이들 카본은 소결 후 특성저하를 일으키는 원인이 될 수 있다. 이 때문에 카본이 잘 제거되는지 확인하기 위하여 1,000℃까지 승온하면서 시편의 중량변화를 확인하였다.

그림 7은 카본을 10 wt% 첨가한 그린 시트의 TGA 분석 결과이다. 300℃에서 바인더가 제거되고, 600℃ 이상에서 카본이 제거되는 중량감소가 나타나고 그 이상의 온도에서 중량변화가 없는 것으로 보아 바인더 burn-out 공정을 통해 카본을 쉽게 제거 할 수 있는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

Tape casting 방법으로 40 ㎛ 두께의 LTCC 그린 시트로 성형한 후 적층 및 압착하여 제작한 320 ㎛ 두께의 LTCC 그린바 상에 레이저를 이용하여 홀 천공 시 홀 터짐 현상이 발생하였다. 이때 홀 터짐 현상을 개선하기 위하여 LTCC 조성에 카본 파우더를 첨가한 후 UV 레이저를 이용하여 천공한 결과, 카본 파우더 첨가량과 레이저 출력이 증가할수록 홀 터짐 현상이 점

차 줄어들었으며, 카본 파우더를 10 wt% 첨가한 LTCC 그린 시트 상에 레이저 출력 3 watt로 홀 직경 50 ㎛를 천공 시 홀 터짐 현상 발생 빈도는 0.8%로 크게 개선된 결과를 얻었다.

REFERENCES

[1] C. H. Min and T. S. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.,* **19**, 825, (2006).

[2] F. Wang, R. cheng, and X. Li, *Journal of Microelectromechanical Systems*, **18**, 933 (2009).

[3] S. H. Kim, I. B. Sohn, Y. C. Noh, J. M. Lee, and S. H. Jeong, *J. KSLP*, **11**, 25 (2008).

[4] T. Rabe and W. Schiller, *J. Appl. Ceram. Technol.*, **2**, 374 (2005). [DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2005.02038.x]

[5] T. J. Jo and D. H. Yeo, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **13**, 23 (2012). [DOI: https://doi.org/10.4313/TEEM.2012. 13.1.23]

[6] S. Mishra and V. Yadava, *Machi. Sci. Technol.*, **17**, 270 (2013). [DOI: https://doi.org/10.1080/10910344.2013.780554]

[7] Y. Yan, L. Ji, Y. Bao, and Y. Jiang, *J. Mater. Process. Technol.*, **212**, 1257 (2012). [DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.01.010]

[8] D. J. Kim, S. M. Yi, Y. S. Lee, and C. N. Chu, *J. KSPE*, **22**, 52 (2005).

[9] S. Mishra and V. Yadava, *Lasers in Eng.*, **30**, 341, (2015).

[10] A. Ancona, F. Roser, K. Rademaker, J. Limpert, S. Nolte, and A. Tunnermann, *Opt. Express,* **16**, 8958 (2008). [DOI: https://doi.org/10.1364/OE.16.008958]