

스크린 인쇄법의 공정 조건이 전극 패턴 균일성에 미치는 영향

이나영^{1,2}, 김동철^{1,2}, 여동훈¹, 이주성³, 윤상옥⁴, 신호순¹ , 이준형²

¹ 한국세라믹기술원 전자재료본부

² 경북대학교 신소재공학부 전자재료공학전공

³ (주)보부하이테크

⁴ 강릉원주대학교 세라믹신소재공학과

Effects of Process Conditions on Electrode Patterning by Screen Printing Method

Na-Young Lee^{1,2}, Dong-Chul Kim^{1,2}, Dong-Hun Yeo¹, Joo-Sung Lee³, Sang Ok Yoon⁴,
 Hyo-Soon Shin¹, and Joon-Hyung Lee²

¹ Electronic Convergence Materials Division, Institute of Korea Ceramic Engineering and Technology, Jinju 52852, Korea

² Department of Materials Science and Engineering, School of Materials Science and Engineering,

Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

³ BOBOO Hitech Co., Ltd, Yongin 16882, Korea

⁴ Department of Ceramic Engineering, Gangneung-Wonju Natial University, Gangneung 26403, Korea

(Received June 17, 2020; Revised July 22, 2020; Accepted July 27, 2020)

Abstract: In this study, image analysis and surface roughness measurements using an optical microscope are presented as a method to quantitatively evaluate the results of screen printing. Using this method, the squeegee speed, which is the printing process condition, and the printability of the electrode according to the screen mesh were evaluated. Increasing the squeegee speed in the printing process acts as a process element that increases the line width precision of the printed electrode and lowers the surface roughness of the printed surface. Furthermore, the edge roughness, which indicates the clarity of printing, was not significantly affected by the speed of the squeegee during printing. The print thickness increases in proportion to the squeegee speed, but is largely dependent on the screen thickness.

Keywords: Tape casting, Screen printing, Screen mask, Squeegee speed

1. 서론

최근 IT 산업의 발전으로 인해 다양한 기능을 포함 한 멀티미디어 제품의 수요가 증가되고 있는 추세이다. 이에 전자회로 부품 제조 분야에서는 회로의 미세화, 고집적화가 지속적으로 진행되고 있으며, 기존보다 더

좋은 성능이 요구되고 있다 [1-3]. 이러한 고집적화의 추세에 따라 후막공정에서도 세라믹 시트 두께 및 전극 선 폭의 미세화에 대한 중요성이 증가되고 있다 [4,5]. 세라믹 전자부품 및 모듈에서는 전자 회로나 디바이스를 비교적 간단하고 효율적으로 생산할 수 있는 스크린 프린팅이 회로 형성 기법의 하나로 각광받고 있다 [5-8]. 또한, 최근 미세 전극의 형성 기술 개발이 중요시되면서 스크린 프린팅을 통해 얻어진 전극의 수준을 평가 하는 것이 중요한 과제가 되었다 [3,9]. 전극 형성의 균일성이 충분히 확보되지 않을 경우 미세한 전극의 형성은 불가능하며 전극이 저항체로 사용될 경우 저항체

✉ Hyo-soon Shin; hshin@kicet.re.kr

Copyright ©2020 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.

전역에 누설 전류의 증가, 특성 불균형 증가 및 소비전력의 증대에 따른 다양한 문제들이 발생된다 [10,11]. 그러나 인쇄된 전극의 수준을 평가하기 위한 평가 방법에 대한 연구 결과는 아직 미비한 실정이다 [9].

본 연구에서는 미세 전극에 인쇄성을 평가하기 위해 스크린 인쇄 공정의 조건 변화에 따른 다양한 평가 방법을 적용하고 이 결과를 기초로 최적의 인쇄 조건을 설정하는 과정을 제시하고자 하였다. 인쇄 공정 조건의 변수로는 스퀴지 속도 및 스크린 마스크의 mesh 변화 등을 선정하였다. 인쇄된 전극을 평가하기 위하여 광학 현미경을 사용하여 관찰한 이미지를 image analyzer 프로그램으로 선 폭 및 가장자리 거칠기를 정량화하고 표면 거칠기 장비를 이용하여 전극의 두께 및 전극의 두께 편차를 확인하였다. 이를 통해 스크린 인쇄 공정의 각 변수가 전극 인쇄성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 세라믹 시트는 HTCC (high temperature Co-fired ceramic) 제품에 적용될 수 있는 것으로 Al_2O_3 을 주성분으로 하고 SiO_2 , MgO , $CaCO_3$, Y_2O_3 등이 첨가된 조성을 사용하였다. 세라믹 원료를 에탄올 톨루엔 혼합 용액에 넣어 분산제(BYK-111, BYK Chemie GmbH, Germany)를 소량 첨가하여 20시간 동안 분산하였다. 1차 볼 밀링 후 PVB (polyvinyl butyral, BM-SZ, Sekisui, Japan)와 DBP (dibutyl phthalate, Daejung Chemicals and Metals Co. Ltd, Korea)가 용해된 용액을 추가 첨가하여 20시간 동안 2차 볼 밀링하여 바인더와 가소제가 혼합된 슬러리를 제조하였다. 제조된 슬러리는 탈포기(new technology engineering Co., Ltd, Korea)로 기포를 제거하고 tape casting (Techgen, Korea) 장비를 이용하여 PET (polyethylene terephthalate) 필름 위에 약 100 μm 두께의 시트로 성형하였다.

전극의 인쇄 공정은 스크린프린터(MT320TV, Microtec, Japan)를 사용하여 진행하였고 사용된 tungsten paste (Sung Jee Tech, Korea)는 입도 약 2 μm , 점도 120 Pa·s을 나타내었다. 스크린은 표 1과 같이 설계되었으며 전극의 인쇄 선 폭은 200 μm 로 고정하였다.

스크린(Sejinsmark, Korea)은 용이한 판분리를 위해 flexible한 standard stainless steel 타입을 사용하였다. 스크린 마스크의 opening에 tungsten paste

Table 1. Screen mask dimension.

Number of meshes (mesh)	Wire diameter (μm)	Opening (μm)	Space rate (μm)	Thickness (μm)
400	23	41	41	60
500	18	33	42	35

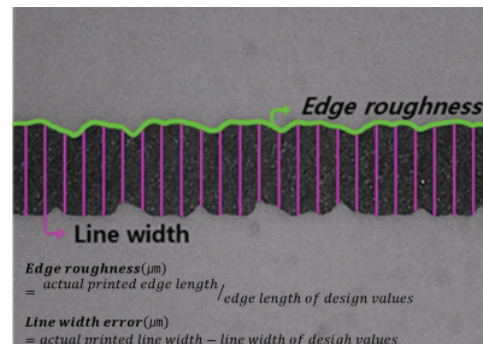


Fig. 1. Evaluation indicator of screen printing process.

를 원활하고 균일하게 밀어내기 위해 9 mm 두께에 폴리우레탄 소재의 스퀴지(Sejinsmark, Korea)를 사용하였다.

인쇄 공정은 예비 실험을 통하여 스퀴지 각도 60°, 클리어런스 1 mm, 인쇄 압력 0.15 MPa로 고정하여 진행하였다. 스퀴지 속도는 25 mm/s, 30 mm/s, 35 mm/s, 40 mm/s로 변화하면서 인쇄 속도에 따른 인쇄성을 평가하였다. 스크린 인쇄 공정 후 전극의 무너짐 방지를 위해서 사용된 텅스텐 페이스트에 솔벤트의 휘발 온도와 PET 필름의 내열도를 고려하여 온도별 선행실험을 통하여 최적의 건조 온도와 시간을 결정하였고 건조 조건은 80°C로 유지되는 오븐에 바로 투입하는 방법으로 15분 동안 유지하였다 [7].

인쇄된 전극은 광학 현미경(Sometech, Korea)을 통해 인쇄 상태를 확인하고, image analyzer (Clemex Vision, Canada) 프로그램으로 전극의 선 폭과 가장자리의 거칠기를 정량적인 수치로 확인하였다. 또한 전극 두께의 균일성을 확인하기 위해 표면 거칠기 측정기(Dektak150, Veeco, America)를 사용하였다. 인쇄 수준에 대한 정량적 지표는 그림 1과 같이 정의하였다. 그림에서 line width는 인쇄된 전극의 폭을 동일 간격으로 24회 측정하고 그 값을 산술평균 하였다. 그리고 이 값으로부터 line width error를 계산하였는데 이것은 인쇄된 line width에서 스크린의 설계 line width를 뺀 값이다. Edge roughness는 그림 1에서 곡선 부분

을 정량화한 것으로 인쇄된 전극의 edge 길이를 설계 값인 직선 길이로 나눈 값을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 스퀴지 속도에 따라 스크린 인쇄한 후, 80°C 온도에서 건조한 전극의 선 폭 오차를 나타내었다. 스퀴지 속도가 증가함에 따라 전극 선 폭의 오차는 400, 500 mesh 각각 5.08 μm 에서 0.94 μm , 4.65 μm 에서 0.94 μm 로 감소되는 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 스퀴지 속도가 증가함에 따라 스퀴지가 스크린 위를 빠르게 이동하면서 페이스트는 shear thinning 현상이 나타나면서 점도가 낮아졌기 때문이다 [12-15]. 인쇄 속도가 낮을 경우 점도가 낮은 paste의 상태가 유지 시간이 더 길어지면서 인쇄하고자 하는 패턴의 선 폭보다 더 넓게 번지는 현상이 나타날 수 있다. 특히 표 1에서 보는 바와 같이 400 mesh의 경우 500 mesh에 비하여 스크린의 두께가 약 2배 높기 때문에 더 높은 인쇄 높이로 인쇄되어 흐름성을 가질 경우 좀 더 많이 번지는 현상이 나타날 수 있다. 그러나 인쇄 속도가 40 mm/s로 높아짐에 따라 shear thinning 현상에 따른 저점도 상태가 순간적으로 지나가면서 다시 점도가 높아짐으로 번짐 현상은 줄어들어 약 1 μm 미만으로 낮은 오차 범위를 나타내었다. 이러한 적정 인쇄 속도의 경우는 400 및 500 mesh의 스크린 마스크에서도 비슷하게 나타났는데 이는 paste의 점도에 많이 의존한다.

그림 3은 스퀴지 속도 변화에 따라 인쇄한 전극의 edge roughness를 측정된 결과이다. 스퀴지 속도가 증가함에 따라 edge roughness는 400, 500 mesh 각각에 대하여 1.03 μm 에서 1.04 μm 로 큰 차이가 없으나 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한, 스크린 mesh 별 edge roughness도 거의 동일한 수준으로 나타났다. 이는 스퀴지 속도 및 스크린 마스크가 전극의 가장자리 거칠기에 미치는 영향이 미미하다는 것을 보여주는 것이다. 그러나 이 결과는 비교적 paste의 점도에 대한 인쇄 조건이 적절히 제어된 수준에서 나타나는 것이고 인쇄 조건과 paste의 점도 및 스크린 mesh가 적절히 제어되지 않은 낮은 수준의 인쇄에서는 큰 변화가 관찰될 수 있다.

그림 4는 스퀴지 속도에 따라 인쇄한 전극의 표면 거칠기를 전극의 길이 방향으로 측정된 결과이다. 스퀴지 속도가 증가함에 따라 표면 거칠기 값이 400 및 500 mesh 각각에서 3.51 μm 에서 1.91 μm , 2.28 μm

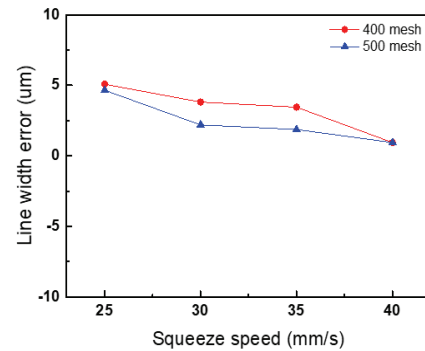


Fig. 2. Line width error with the variation of squeegee speed.

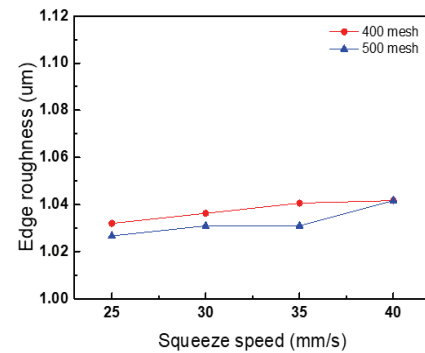


Fig. 3. Edge roughness with the variation of squeegee speed.

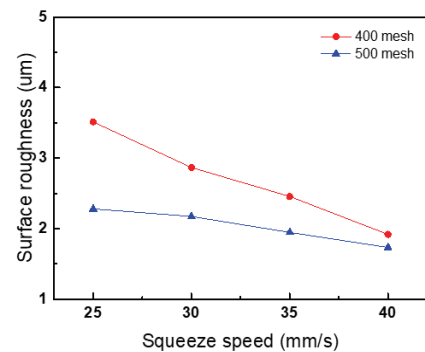


Fig. 4. Surface roughness with the variation of squeegee speed.

서 1.73 μm 로 감소되는 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 그림 2에서 언급한 바와 같이 스퀴지 속도가 증가함에 따라 shear thinning 현상이 더 지배적으로 나타나 점도가 더 낮아지고 전극의 reveling이 더 우수해지므로 mesh의 영향이 줄어들고 surface roughness가 감소하는 것으로 판단된다. 또한, 스퀴지 속도 변화에 따라 400 및 500 mesh 모두 표면 거칠기 경향이 유사하였다. 하지만 400 mesh가 전반적으로 더 큰 surface

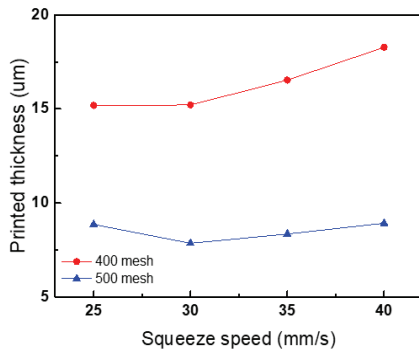


Fig. 5. Printed thickness with the variation of squeegee speed.

roughness 값을 나타내는 것은 표 1에서 보는 바와 같이 500 mesh보다 더 큰 선경을 가졌기 때문이라고 판단된다. 큰 선경의 mesh는 작은 선경의 mesh보다 paste leveling에 더 불리하므로 상대적으로 더 큰 surface roughness를 나타내게 된다.

그림 5는 스퀴지 속도에 따른 전극의 두께를 비교하기 위하여 패턴 방향의 수직으로 측정된 roughness 측정 결과의 적분 면적을 패턴의 폭으로 나누어 환산한 평균 두께로 나타낸 것이다. 스퀴지 속도가 증가함에 따라 전극의 두께는 400, 500 mesh 각각에서 15.19 μm 에서 18.27 μm , 7.85 μm 에서 8.92 μm 로 증가되는 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 스퀴지가 이동하면서 폴리우레탄 재질인 스퀴지의 유연성 때문에 paste가 들어간 mesh 내부를 일부 긁고 지나가는데 이때 스퀴지의 이동속도가 느릴수록 더 깊이 긁고 지나가면서 잔류 paste의 양을 줄이는 효과가 나타나고 속도가 빠를수록 더 적은 양을 긁어내는 것으로 보인다 [1]. 이러한 결과는 400 mesh와 500 mesh의 스퀴지 속도에 따른 상대적인 두께 변화에서도 나타나는데 mesh의 번호가 더 높을수록 두께의 변화가 더 적게 나타난다. 이것은 mesh가 높아질수록 mesh opening이 더 좁아 스퀴지의 변형에 의한 긁어내는 현상이 완화되기 때문인 것으로 추론할 수 있다. 전반적으로 mesh 번호에 따른 절대적인 인쇄 두께의 차이는 스크린의 두께 차이에 따른 것으로 이것은 곧 인쇄 두께를 결정하는 주된 요인이다.

4. 결론

본 연구에서는 스크린 프린팅 공정에서 스퀴지 속도 및 스크린 mesh가 전극의 인쇄성에 미치는 영향을 정

량적으로 비교하고자 하였다. 스크린 프린팅 공정에서 스퀴지 속도 증가는 인쇄된 전극의 선 폭 정밀도를 증가시키고 인쇄된 면의 surface roughness를 낮추는 공정요소로 작용한다. 이것은 인쇄 과정에서 paste의 shear shinning 현상에 의한 점도 저하가 순간적으로 일어나는데 이때 점도의 변화와 시간과의 관계에서 나타나는 현상으로 보인다. 한편, 인쇄 패턴의 선명성을 나타내는 지표인 edge roughness는 인쇄 시 스퀴지의 속도에는 큰 영향을 받지 않았고 paste와 mesh 선정 등 기본적인 요건에 크게 의존하였다. 인쇄 두께는 스퀴지의 속도에 비례하여 증가하지만 기본적으로는 스크린의 두께에 크게 의존하는 것을 정량적으로 평가하고 확인할 수 있었다.

ORCID

Hyo Soon Shin

<https://orcid.org/0000-0002-2102-5763>

감사의 글

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('10077283').

REFERENCES

- [1] B. K. Koo, *J. Korean Ceram. Soc.*, **51**, 344 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.4191/kcers.2014.51.4.344>]
- [2] W. S. Seo, B. W. Min, J. H. Kim, N. K. Lee, and J. B. Kim, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, **17**, 47 (2010).
- [3] W. S. Seo, B. W. Min, K. Park, H. J. Lee, and J. B. Kim, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.*, **21**, 26 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.7735/ksmt.2012.21.1.026>]
- [4] S. B. Sohn, H. S. Kim, S. M. Song, Y. T. Kim, and K. H. Hur, *J. Korean Ceram. Soc.*, **46**, 146 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.4191/KCERS.2009.46.2.146>]
- [5] T. X. Liang, W. Z. Sun, L. D. Wang, Y. H. Wang, and H. D. Li, *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol., Part B*, **19**, 423 (1996). [DOI: <https://doi.org/10.1109/96.496047>]
- [6] D. Crescini, D. Marioli, and A. Taroni, *Sens. Actuators, A*, **55**, 79 (1996). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(97\)80060-X](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(97)80060-X)]
- [7] X. Zhou, M. Sazegar, F. Stemme, J. Hausfelt, R. Jakoby, and J. R. Binder, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **32**, 4311 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.06.021>]
- [8] J. Pan, G. L. Tonkay, and A. Quintero, *J. Electron. Manuf.*, **9**,

- 203 (1999). [DOI: <https://doi.org/10.1142/S096031319900012X>]
- [9] G. C. Dubey, *Microelectron. Reliab.*, **14**, 427 (1975). [DOI: [https://doi.org/10.1016/0026-2714\(75\)90151-1](https://doi.org/10.1016/0026-2714(75)90151-1)]
- [10] M. Lahti, A. Vimpari, and K. Kautio, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **27**, 2953 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.11.046>]
- [11] S. M. Shapee, R. Alias, I. Azmi, Z. Ambak, Z. M. Yusoff, and M. R. Saad, *Key Eng. Mater.*, **421**, 485 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.421-422.485>]
- [12] P. Izak, J. Mastalska-Poplawska, J. Lis, and A. Stempkowska, *Proc. 2nd International Conference on Rheology and Modeling of Materials (IC-RMM2)* (Lillafired, Hungary, 2015) p. 012001. [DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/790/1/012011>]
- [13] J. W. Phair and A. F. J. Kaiser, *Annu. Trans. Nord. Rheol. Soc.*, **17** (2009).
- [14] H. W. Lin, C. P. Chang, W. H. Hwu, and M. D. Ger, *J. Mater. Process. Technol.*, **197**, 284 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.06.067>]
- [15] J. Evans and J. Beddow, *IEEE Trans. Compon., Hybrids, Manuf. Technol.*, **10**, 224 (1987). [DOI: <https://doi.org/10.1109/TCHMT.1987.1134725>]