

# 전자기 해석 시뮬레이션 기반 대역차단필터 설계 및 Ag Paste 소결 공정 최적화

박진비, 강민형

한국전자기술연구원

wlsq11013@keti.re.kr, mhkang@keti.re.kr

Jin Bee Park, Min Hyung Kang

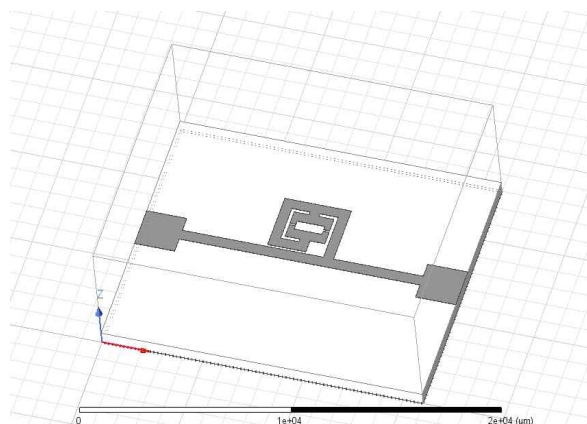
Korea Electronics Technology Institute

## 요약

본 논문은 전자기 해석 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 대역차단필터(Band Stop Filter, BSF)를 설계하고 제작 공정에서 전극 수축 최소화를 위한 고온 소결 공정 최적화 방법을 제안함. 전자기 해석 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 설계한 BSF와 프린팅 및 고온 소결 공정을 통해 제작한 BSF의 중심 차단 주파수, 대역폭, 감쇄율 등 적합성을 확인함.

## I. 서론

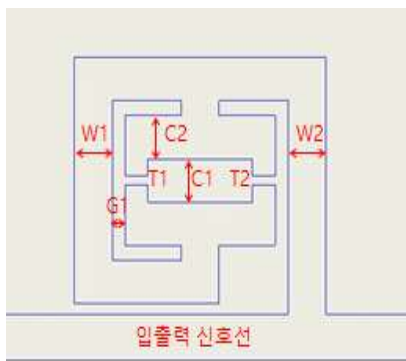
최근 초고속 통신인 5G, 6G 통신에 대한 중요성이 대두되면서 관련 소재/부품 개발이 활발하게 진행되고 있음. 5G, 6G 통신 관련 부품에는 안테나, 필터, 리피터 등이 있으며, 상기 부품 제작을 위한 소재로는 잉크 소재, 세라믹 소재 등이 있음. 한편, 주파수대역이 Sub 6GHz 이상인 Upper mid band, Sub THz 대역의 중요성이 강조되면서 세라믹 기반 부품인 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정의 중요도가 높아지고 있음. 특히, 통신사별 할당 주파수 대역을 손실 없이 정확하게 필터링하는 고주파 필터를 개발하기 위해 설계와 공정 간의 적합성 개선 및 제작 공정 최적화가 필요함. 따라서, 본 논문에서는 전극 수축을 최소화한 고온 소결 공정 최적화 방법 및 시뮬레이션 기반 제작 공정 간의 적합성 분석을 통한 공정 개선 방법을 제안함.



[그림 2] 시뮬레이션 내 설계한 필터 이미지

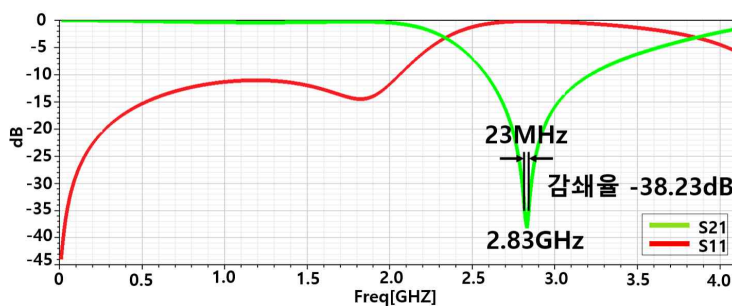
## II. 본론

BSF 제작 공정 개발을 위해 선행 연구된 4.3GHz 대역의 BSF를 기준 구조로 채택하였음 [1]. 전자기 해석 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 중심 차단 주파수 영역을 2.83GHz로 수정한 BSF를 설계하였으며, 스크린 프린팅 공정 및 고온 소결 공정을 통해 BSF를 제작하였음.



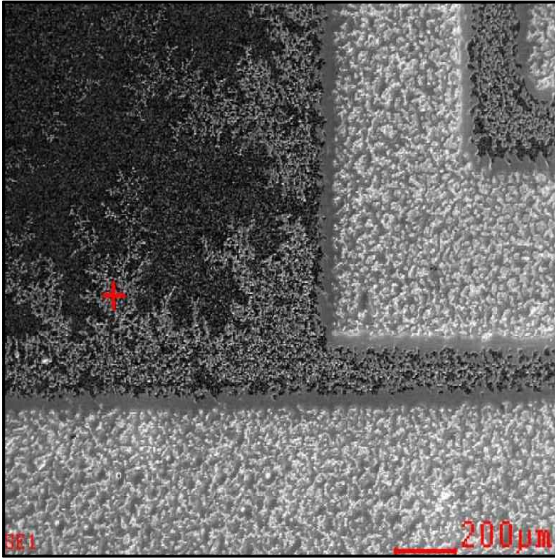
[그림 1] 제판 설계 도면

그림 2와 같이 시뮬레이션에서는 산화 알루미늄( $Al_2O_3$ ) 기판 위에 Ag 전극을  $15\mu m$  두께로 설정하여 BSF를 설계 및 해석하였음. 그림 3에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션 결과 중심 차단 주파수 2.83GHz, 대역폭 26MHz를 확인하였음.

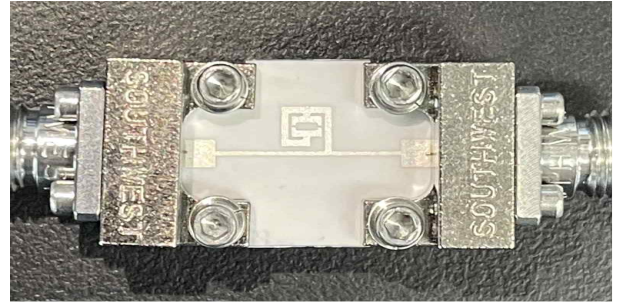


[그림 3] 주파수 해석 결과 이미지

이후, 시뮬레이션으로 설계한 BSF 제작을 위해  $Al_2O_3$  기판에 Ag 전극을 스크린 프린팅 및 고온 소결 공정하였음. 스크린 프린팅 제판은 실버 분말 입자크기( $\sim 5\mu m$ )를 고려하여 400 Mesh로 채택하였으며, 소결 공정은 최고 온도  $850^\circ C$ 에서 상승 시간 60분, 유지 시간 60분 동안 수행하였음. 소결 공정 후 전극이 수축하는 현상을 확인하여 그림 4와 같이 주사전자 현미경(Scanning Electron Microscop, SEM)으로 분석함. SEM 분석 결과 전극이 최대 22.4% 수축한 것을 확인하였으며, 에너지 분산 분광법(Energy Dispersive Spectrometer, EDS)으로 수축부 주변을 분석한 결과 소결 과정에서 은 입자가 기판으로 퍼지는 것을 확인함. (그림4 참조)

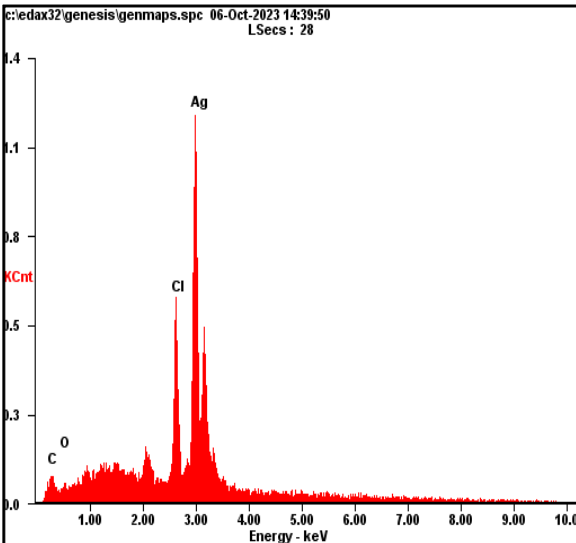


[그림 4] 은 입자 퍼짐 현상 SEM 분석

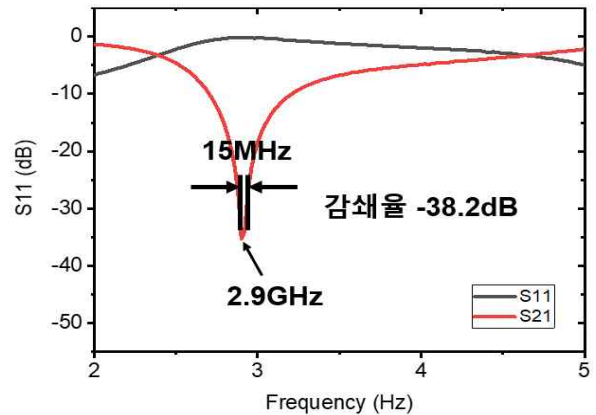


[그림 7] RF 커넥터를 부착한 대역차단필터

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 레이저 커팅 후 BSF에 RF 커넥터를 부착하여 주파수 성능을 측정하였음. 벡터 네트워크 분석기(Vector Network Analyzers, VNA)를 활용하여 S-parameter를 측정함. 감쇄율 -38.2dB, 대역폭 60MHz 중심 차단 주파수 영역이 2.9GHz로 제작되었음을 확인함. 그림 8 과 같이 S-parameter를 비교한 결과 2.83GHz로 설계한 BSF와 0.07GHz 주파수 영역 차이가 발생하였으며 대역폭은 8MHz 차이가 발생함. 오차 원인으로는 전극 면적의 감소, Skin depth 이상의 패턴표면 거칠기로 인한 Skin Effect로 예상됨.

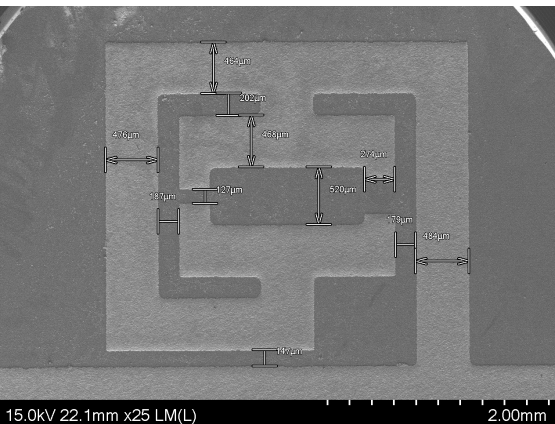


[그림 5] 은 입자 퍼짐 현상 EDS 분석



[그림 8] 주파수 특성 측정 결과

은 입자 퍼짐현상을 개선하기 위해 소결 온도 유지 시간을 조절함. 소결 온도 유지 시간을 60분에서 10분으로 줄이면서 전극 수축을 최대 22.4% 에서 최대 10%로 개선함.



[그림 6] 소결 공정 개선한 후 샘플 SEM 측정 이미지

### III. 결론

본 연구에서는 BSF 필터 제작 공정에서 발생하는 선폭 변화를 최소화하는 소결 공정 조건을 수립하였음. 선폭 변화에 의한 주파수 변화 양상을 분석하여 설계와 공정 간의 오차를 줄이는 방법을 제안하였으며 이는 프린팅 공정이 주로 활용되는 5G, 6G 대역 LTCC 소자, 웨어러블 장치, 플렉서블 장치 등 다양한 분야에서 적용이 가능할 것으로 기대됨. 다음 연구에서는 전극 두께, 선폭 변화뿐만 아니라 전극 표면 거칠기, Via hole 수축 등 다양한 공정상의 오차를 개선하고 시뮬레이션 기반 설계 간의 정합성 향상을 통해 정밀 설계 기술을 개발하고자 함.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 산업통상자원부가 지원한 '나노인프라역량고도화 사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명: 5G-6G분야 나노소재부품 공정기술개발 / 과제고유번호: RS-2023-00256225]

### 참고 문헌

[1] Dhakal, Rajendra, et al. "Screen-printed flexible bandstop filter on polyethylene terephthalate substrate based on Ag nanoparticles." Journal of Nanomaterials 16.1 (2016): 346-346.