

패키징 보드에서의 전원노이즈 저감을 위한 EBG(Electromagnetic Band Gap) 패턴에 관한 연구

김병기, 유종운, 김종민, 하정래, 나완수
 성균관대학교 정보통신공학부

EBG(Electromagnetic Band Gap) Pattern Reserch for Power noise on Packing Board

Byung-Ki Kim, Jongwoon Yoo, Jongmin Kim, Jung-rae Ha, Wansoo Nah
 Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문은 SSN(Simultaneous Switching Noise) 이 유전체를 통해 다른 시스템에 유기되는 것을 막기 위한 방법인 EBG(Electromagnetic Band-Gap)에 관한 연구이다. 이에 대한 EBG 구조를 설계하기 위해 PDN(Power Delivery Network)에 주기적인 패턴을 삽입한다. 패키지에 EBG 구조를 적용하기 위해 인쇄 회로기판 범위에서 연구되었던 구조를 변형 및 개조하여 EBG 구조가 내포하고 있는 필터의 차단 주파수의 범위를 넓히며 차단 시작 주파수를 1GHz 아래로 낮추는 소형화 방법을 모색한다. 이 연구에서 실시할 EBG 구조에 대한 간단한 고찰과 인쇄 회로 기판에 적합한 AI-EBG(Alternating impedance Electromagnetic Band-Gap) 구조를 이용한 EBG 의 소형화에 대해 언급하고, 소형화를 위한 3-D EBG 의 설계구조에 대해 설명한다. 그리고 저주파에서 차단특성을 높이기 위한 방법으로 3-D EBG를 사용하고 AI-EBG와 비교하여 차단특성의 변화를 Full-wave 시뮬레이션과 측정으로서 비교한다.

1. 서 론

시스템 보드와 패키지를 포함하고 있는 IC의 전원을 PDN(Power Delivery Networks)에서 공급하고 있는데 고속 메모리와 같은 Transistor가 빠른 클럭 속도를 가지고 on/off를 할 경우 전류의 급격한 변화는 PDN 자체가 인덕턴스 성분을 가짐으로 인해서 PDN에 SSN(Simultaneous Switching Noise)이 발생하게 된다. 이에 대한 억제 방법으로 Power plane과 Ground plane에 사이에 Decoupling Capacitor (De-cap)를 사용하여 PDN의 임피던스를 낮추는 방법이 있지만 고주파에서 De-cap의 기생 인덕턴스 성분 때문에 또 다른 병렬 공진 주파수를 유발 할 수 있다. 이런 문제점을 대처하면서 효과적이게 SSN을 줄일 수 있는 방법으로 EBG 구조가 적합하고 볼 수 있다.

EBG구조를 보면 단위 셀 사이의 유효 인덕턴스를 증가시켜서 밴드갭을 형성하여 Band-stop filter 와 같은 개념을 가지고 있다. 이런 구조로 인해 Power Plane에서는 노이즈를 효과적으로 억제 시킬 수 있다. [1] 이 논문에서는 EBG 구조에 대한 고찰과 인쇄 회로 기판에 적합한 AI-EBG 구조를 이용한 EBG 의 소형화에 대해 언급하고, 소형화를 위한 3-D EBG 의 설계구조에 대해 설명한다. 마지막으로 설계된 3-D EBG를 실제 제작하고 주파수 영역과 시간 영역에서 측정한 후 결과 분석을 한다.

2. 본 론

2.1 EBG 구조의 소형화

EBG 구조는 기존에 사용했던 전원 면에 주기적인 패턴을 삽입하여 일정 대역에서 필터의 기능이 나타나도록 하는 것으로, 패턴의 크기나 길이에 따라 필터를 구성하는 커패시턴스와 인덕턴스의 용량이 결정된다. 식 1 는 단위 길이 당 나타나는 커패시턴스와 인덕턴스의 크기를 나타낸다.[2]

$$C_p = \epsilon \frac{w}{d} \text{ (F/m)}, L_p = \mu \frac{d}{w} \text{ (H/m)}$$

<수식 1> 단위 길이의 평행 평판 전원 면에서의 분포정수회로 소자

수식 1에서 알 수 있듯이, 커패시터의 크기는 평행평판의 넓이에 비례하고 두 평판 사이의 거리에 반비례한다. 인덕턴스의 크기는 이와 반대로 두 평판 사이의 거리에 비례하고 평행평판의 넓이에 반비례한다. 여기서 단위길이에 대한 분포 정수 회로 소자의 값들은 작은 넓이와 길이를 갖는 패키지에서는 작은 커패시턴스와 인덕턴스의 성질을 갖게 된다. 커패시턴스와 인덕턴스의 성분이 작은 평행평판의 EBG구조일수록 필터 이론에 의해 차단 주파수가 높아지며, 이는 GHz 아래의 신호를 사용

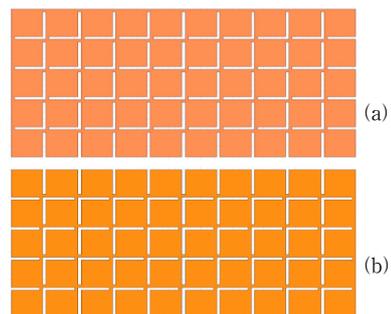
하는 디지털 시스템에서 RF 시스템으로 유기되는 SSN 을 차단하기 어렵다. 식 2은 일반적인 저역 통과 여파기(Low pass filter)의 전달 함수를 나타낸다.

$$H(\omega) = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_c^2}} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\frac{1}{LC}}}$$

<수식 2> 저역통과 여파기의 전달함수

식 2에서 차단 주파수를 나타내는 ω_c 는 필터를 구성하는 인덕턴스 L 과 커패시턴스 C 에 반비례 하므로 저대역에서 차단 주파수가 형성되는 EBG 를 제작하기 위해서는 이에 알맞도록 인덕턴스와 커패시턴스를 갖도록 EBG 의 패턴을 생성해야만 한다. 따라서, 높은 커패시턴스를 위해 유전율이 높은 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 등의 재질을 사용하거나, 높은 인덕턴스를 위해 추가적인 EBG 의 Bridge 를 사용하는 방법이 있다.[4] 이러한 방법은 비용 상의 문제나 공간 제약 상의 문제로 한계가 있었으나, 이 연구에서는 이러한 단점을 극복할 수 있는 3-D EBG 구조를 제시한다. 제시된 구조에서는 고주파 신호에서 발생하는 귀환 경로의 특성을 이용하여 신호가 직접 겪는 인덕턴스의 크기를 높이는 구조를 가진다. 3-D EBG 구조로서는 고주파 신호의 귀환 경로 특성을 잘 이용할 수 있도록 설계된 AI-EBG (Alternative Impedance EBG) 를 사용한다. 그림1은 3-D EBG 구조의 접지 면과 전원 면의 윗부분을 보여준다.

앞서 설명했듯이 3-D EBG 은 고속 신호의 귀환 경로의 특성을 이용한 인덕턴스의 증가로서 각 패치를 연결해주는 연결 부분의 전원 면과 접지 면에서 불연속점이 발생하여 임피던스를 최소로 형성하는 귀환경로가 재 생성되므로 인덕턴스가 커지게 되는 효과가 발생하게 된다.



<그림 1> 3-D EBG의 (a) 접지면 (b) 전원면

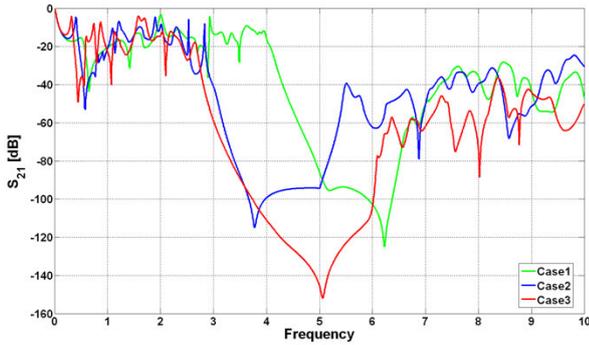
2.1.1 시뮬레이션과 측정 결과

그림 2과 표1은 연구되었던 두 가지 EBG 구조와 3-D EBG 구조의 시뮬레이션 예상결과를 나타낸다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 AI-EBG 보다 각 패치의 연결 부분을 변형시켜 인덕턴스의 값을 높인 AI-EBG with additional slit 의 차단 시작 주파수가 저 주파수 대역에서 형성된다. 그리고 AI-EBG with additional slit 보다 3-D EBG 구조의 차단 대역 주파수가 더 넓게 형성됨을 알 수 있다. 차단의 기준은 -40dB 로 하였다. 그림 3 에서 보이는 차단 대역에서의 오차는 측정 시 사용되었던 Vector Network Analyzer의 성능에 의해 발생하는 것이며, 약 3GHz 까지 결과치가 잘 일치하며 나머지 대역의 결과에서도 믿음직한 일치성을 보여준다. 이 결과로부터 늘어난 인덕턴스의 용량으로 인해 3D-EBG

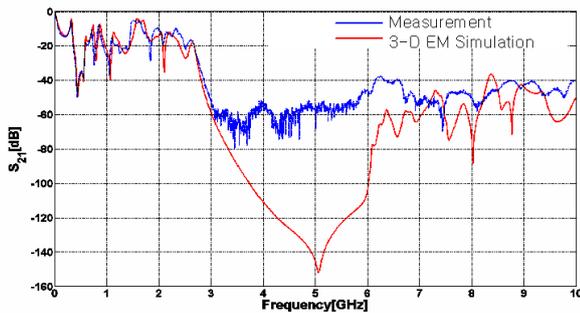
의 크기가 보드에서 패키지 크기로 줄어들어도 차단 시작 주파수가 크게 변동되지 않을 것이라는 것을 예측할 수 있다.

〈표 1〉 각 EBG 구조의 차단 주파수

Case	Structure	Cut-off frequency	Minimum isolation over 5GHz
1	AI-EBG	4.3 ~ 7.3GHz	-28.25 dB @ 8.5GHz
2	AI-EBG with additional slit	3 ~ 7.2 GHz	-24.5 dB @ 9.8GHz
3	3D-EBG	2.8 ~ 8.3 GHz	-36.5 dB @ 8.4GHz



〈그림 2〉 EBG구조의 시뮬레이션 결과 비교



〈그림 3〉 EBG의 시뮬레이션 및 실 측정치 비교

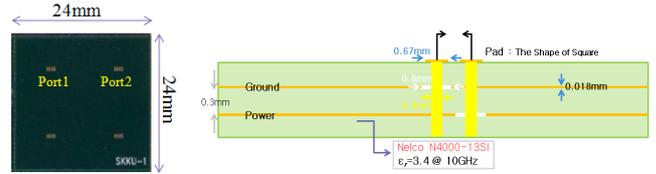
2.2 제작 및 측정

제작 모델의 크기 및 제원은 가로, 세로 24 X 24 mm²의 넓이를 가지며 높이 0.972 mm의 4층 구조이다. 유전체로는 Nelco N4000-13SI 로서 스트립라인 구조에서 10GHz에 3.2의 유전율과 0.008의 손실 탄젠트를 갖는다. 그림 4은 제작된 패키지 용 PDN의 모습을 보여준다.

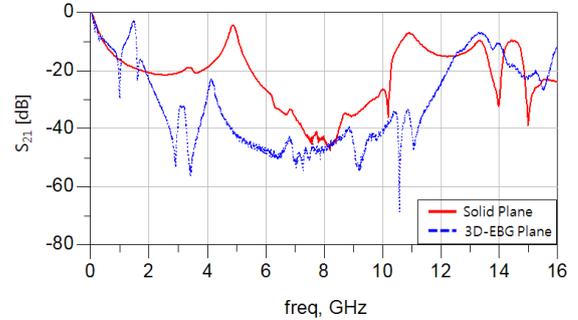
측정은 주파수 영역과 시간 영역에서 이루어진다. 그림 4에서 보이는 바와 같이 좌측 상단에 존재하는 포트가 1번, 우측 상단에 위치한 포트를 2번으로 정하였다. 측정은 주파수 영역에서는 2 포트 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 두 개의 포트에 대한 S-parameter를 측정하였다. 그리고 시간영역에서 노이즈 감소 정도를 알아보기 위해 포트 1에서 Xilinx사의 Virtex-5 ML523 FPGA Kit를 이용하여 주파수가 2.5GHz이고 크기가 550mV의 클럭 신호를 인가한 후, 포트 2에서 측정되는 신호의 양을 보았다. 측정은 Lecroy사의 Wavepro 7300 오실로스코프 시리즈를 사용하였다. 오실로스코프의 성능은 20Giga 초당 샘플링에 3 GHz의 측정 대역폭을 지원한다.

2.2.1 측정 결과 비교

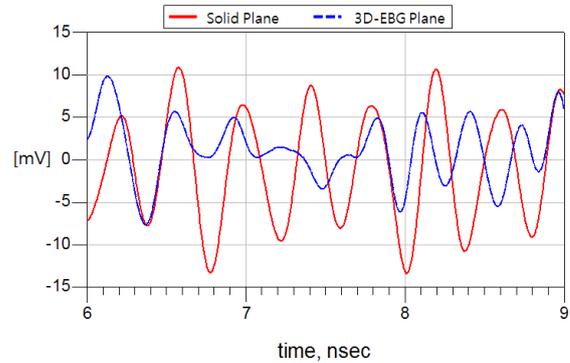
그림 5을 보면 2.5GHz에서 Solid Plane에서의 전달특성이 -21.42dB로 나타나고 3D-EBG Plane에서 -34dB로 3D-EBG를 사용한 것이 차단 특성이 높음을 알 수 있다. 차단대역폭 또한 -30dB를 기준으로 Solid Plane에서는 3.35GHz로 나타나고 3D-EBG Plane에서는 11.38GHz으로 3D-EBG를 사용한 것이 넓은 차단 특성을 보여 주었다. 시간영역에서의 신호측정으로 포트1에 주파수가 2.5GHz이고 진폭이 550mV인 신호를 주고 포트2에서 측정하였다. 그림 6에서 보면 Solid Plane에서 최대 진폭은 24mV로 입력 전압대비 4.36%로 감소하였고 3D-EBG Plane에서는 20.35mV로 3.27%로 감소하여 3D-EBG를 사용한 것이 시간영역에서도 노이즈 감소가 더 높은 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 제작된 패키지 용 PDN



〈그림 5〉 Solid Plane과 3D-EBG Plane 측정치 비교



〈그림 6〉 시간영역에서 신호 측정

3. 결 론

EBG의 차단 영역이 시작하는 주파수는 PDN 내부에 존재하는 패턴의 패키지에서 발생하는 커패시턴스와 패치간의 연결부분의 인덕턴스에 의해 결정된다. 하지만 패키지의 공간적인 제약에 의해 일반적으로 EBG의 차단 시작 주파수는 수 GHz 대역에 존재하였고, 이를 해결하기 위해 낮은 대역에서 차단 시작 주파수가 형성되는 EBG 소형화에 대한 많은 연구가 진행되었다. 이번 연구에서는 고주파 신호의 귀환 경로 설정의 특성을 이용한 인덕턴스의 증가로 인한 EBG 구조의 소형화 방법을 제시하였다. 그리고 AI-EBG와 3D-EBG의 패턴의 따른 차단 특성의 변화를 알아보았고 패키지 용 PDN 보드를 제작하여 주파수영역과 시간영역에서 3D-EBG Plane 유용성을 검증 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jinwoo choi, Vinu Govind, and Madhavan Swaminathan, "A Novel Electromagnetic Bandgap(EBG) Structure for Mixed-signal System Applications", , Radio and Wireless Conference, 2004
- [2] Madhavan Swaminathan, A.Ege Engin, "Power Integrity Modeling and Design for Semiconductors and System", Prentice Hall, 2007.
- [3] Yoshitaka Toyota, A. Ege Engin, Tae Hong Kim, Madhavan Swaminathan, Swapan Bhattacharya, "Size Reduction of Electromagnetic Bandgap (EBG) Structures with New Geometries and Materials", Electronic Components and Technology Conference, pp1784~1789, 2006
- [4] Yoshitaka Toyota, Kengo Ikibe, Ryuji Koga, A. Ege Engin, Tae Hong Kim, Madhavan Swaminatha, "Miniaturization of Electromagnetic Bandgap(EBG) Structures with High-permeability Magnetic Metal Sheet", EMC 2007.