

와이어 본딩 기법으로 연결된 CPS-마이크로스트립 접속구조에 대한 전파특성 해석

정희원 박기동*, 이현진**

Analysis of the Characteristics for CPS-microstrip Interconnection Connected by using Wire-bonding Scheme

Ki Dong Park*, Hyeon Jin Lee** *Regular Member*

요약

전기광학소자에서 전극으로 사용하는 CPS 선로와 초고주파 회로 구성시 가장 일반적으로 사용되는 마이크로스트립 선로를 와이어 본딩방식으로 접속한 구조에 대하여 와이어 본딩 폭(W)과 리본과 상층유전체 사이의 간격(G)이 주파수영역 특성에 미치는 영향을 시간영역 유한차분법을 이용하여 고찰하였다. 와이어 본딩 폭보다 리본과 상층유전체 사이의 간격이 접속구조의 전송특성에 큰 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있다.

ABSTRACT

CPS lines which can be used as the electrode in electrooptic devices and microstriplines which can generally be used in designing microwave circuit are interconnected by using wire-bonding scheme. For this interconnection effects of the wire-bonding width and the gap between the ribbon and superstrate are analyzed in frequency domain with the three-dimensional finite-difference time-domain method (3D-FDTD). It is found that the gap between the ribbon and superstrate is of importance than the wire-bonding width.

I. CPS와 마이크로스트립 접속구조

다층회로에서는 선로나 소자간 신호전송을 할 수 있는 접속구조의 사용이 필수불가결하기 때문에, 설계 및 제작시 접속방식의 적절한 선택과 접속구조의 정확한 해석이 중요한 문제로 대두되어졌다. 따라서, 본 논문에서는 최근 전기광학소자에서 전극으로 사용하는 CPS 선로와 초고주파 회로 구성시 광범위하게 사용되는 마이크로스트립 선로를 골드 리본으로 연결한 구조에 대한 전파전파 특성을 해석하였다. 지금까지 CPW, 슬롯, 마이크로스트립 선로간 접속구조에 대한 해석은 많이 시도 되어져왔다.^{1)~4)} 그러나, CPS 선로는 MIC와 MMIC용용분야에서 앞에서 언급한 세가지 선로의 사용에 비해 자주 사용되지 않았기 때문에 CPS

선로와 다른 선로의 접속에 대한 전파특성 해석이 거의 없는 실정이다.

CPS 선로와 마이크로스트립 선로의 접속구조를 그림 1에 도시하였다. 하층기판상에 위치하는 CPS 선로와 한정된 유전체와 유한한 접지면을 갖는 상층기판상에 위치하는 마이크로스트립 선로를 일정폭을 갖는 골드 리본으로 연결하였다. 이 접속구조는 CPS의 수평방향 전계성분이 마이크로스트립 선로에서는 수직방향 전계성분으로 변환되므로 수직방향 전계강도에 의존하는 IO 스위치(Integrated Optic switch), 광변조기(optic modulator)와 같은 전기광학소자 제작시 많이 적용될 것이며, MMIC 전자소자에서 CPS 선로에 직접 동축 선로를 접속하여 여기하는 것은 실제적인 경우가 아닌데 이러한 접속구조를 사용하여 여기문제를 해결할

*동강대학 정보통신과 전임강사(Keedong@www.dongkang.ac.kr) 정희원, ** 동강대학 전자과 조교수(hyeonjin@www.dongkang.ac.kr) 정희원
논문번호: 98010-0909, 접수일자:1998년 9월 9일

수 있을 것이다. 그림 1에 표시된 와이어 본딩 폭(W)과 리본과 상층유전체 사이의 간격(G)이 구조의 전파 특성에 미치는 영향을 상세히 고찰하였다.



(a) 3차원 구조
(a) Three-dimensional structure



(b) 측면도 (c) 투사도
(b) Side view (c) Top view

그림 1. CPS와 마이크로스트립 선로의 접속구조.
Fig. 1. The CPS-Microstripline interconnection.

II. 유한차분 시간영역법

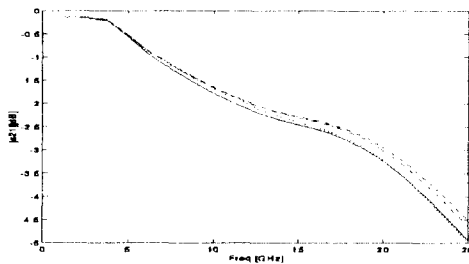
FDTD은 해석대상체를 포함하는 유한공간에 걸쳐 맥스웰 방정식을 이산화하고, 그 도함수에 Yee's 격자의 전자계성분 배열과 중심 차분 근사의 적용으로 유한차분 방정식을 유도하게 된다. 그리고 무한공간을 유한한 계산공간으로 한정시킬 때 절단된 각 경계면에 대해서는 흡수 경계조건이 사용된다.¹⁵⁻⁶⁾ 본 논문에서는 코플래너 스트립(coplanar strips : CPS)선로나 슬롯선로에 가장 적합하다고 알려진 수정 분산경계조건을 모든 경계면에 사용하였다.¹⁷⁾ 여기 방법은 여기신호의 왜곡을 제거하기 위해, 여기면을 10 λ 만큼 계산영역 내에 위치시키고 최외곽면에는 흡수 경계조건을 계산초기부터

적용하였다.¹⁸⁾ 여기 신호로는 펄스 폭을 조절함으로써, 직류부터 해석하고자 하는 최대 주파수까지의 광대역 스펙트럼 분포를 얻을 수 있는 가우스형 펄스를 취하였다. 본 논문의 계산에서는 하층기판 유전체의 비유전율 $\epsilon_{r1} = 12$, 두께 $h_1 = 300\text{mm}$, 상층기판의 비유전율 $\epsilon_{r2} = 3.5$, $h_2 = 0.7\text{mm}$, CPS선로의 폭 $W_1 = 0.8\text{mm}$, 간격 $d = 0.4\text{mm}$, 마이크로스트립선로 폭 $W_2 = 0.8\text{mm}$ 인 구조에 Yee's 단위격자 차원을 $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = \Delta = 0.1\text{mm}$ 로 하여 전체 계산공간이 $80\Delta_x \times 120\Delta_y \times 50\Delta_z$ 가 되도록 설정하였다. 하층기판의 두께가 구조의 다른 차원에 비해 상당히 크므로 수정분산경계조건을 하층기판에 적용하여 무한두께로 가정하였다. 여기신호인 Gaussian 펄스에 대해 시간스텝 $\Delta t = 0.16\text{ps}$, 반치폭 $T = 8\text{ps}$, 시간지연 $t_0 = 3T$ 을 설정하였다. 수정분산경계조건인 계수 α_i 는 각각 $\alpha_{x1} = 0.95$, $\alpha_{x2} = 1.00$, $\alpha_{y1} = 1.00$, $\alpha_{y2} = 1.00$, $\alpha_{z1} = 0.965$, $\alpha_{z2} = 0.980$ 의 값을 사용하였고, 입력 신호만 구할 경우 $\epsilon_{\text{reff}1}$ 는 $\epsilon_{\text{reff}1x} = 2.75$, $\epsilon_{\text{reff}1y} = 6.50$, $\epsilon_{\text{reff}1z} = 2.75$, $\epsilon_{\text{reff}2}$ 는 $\epsilon_{\text{reff}2x} = 8.00$, $\epsilon_{\text{reff}2y} = 8.00$, $\epsilon_{\text{reff}2z} = 8.00$ 을 사용하였지만 전체구조를 해석할 경우는 $\epsilon_{\text{reff}1}$ 는 x, z 방향의 경계조건에 대하여는 앞의 값을 그대로 적용하고, y방향에 대해서는 CPS선로측에는 $\epsilon_{\text{reff}1yC} = 6.50$, $\epsilon_{\text{reff}1yM} = 2.65$, $\epsilon_{\text{reff}2}$ 는 $\epsilon_{\text{reff}2yC} = 8.00$, $\epsilon_{\text{reff}2yM} = 2.80$ 을 사용하였다.

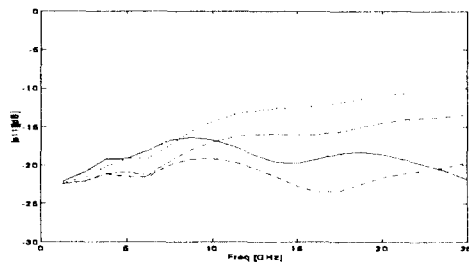
III. 시뮬레이션 및 고찰

그림 2는 연결 리본의 폭 W을 0.8mm 로 고정시키고 리본과 유한크기를 갖는 상층유전체 사이의 간격 G변화에 따른 주파수영역 특성을 보인 것이다. 간격 G가 0.4 mm일 때 가장 작은 반사손실을 나타내는데 이 값은 CPS선로에서의 간격 d와 동일한 값을 갖는다. 전체구조에서의 전계성분 변화과정을 개략적으로 살펴보면 CPS선로의 E_x 성분이 선로를 따라 진행하다가 구조의 불연속부분, 즉 리본으로 연결되는 부분에서는 E_y 성분으로 변환되고 마이크로스트립선로에서 다시 성분으로 변환되어 진다. CPS선로에서 선로의 폭이 커지면 슬롯선로라고 할 수 있으므로 불연속 부분의 하단부는 선로폭이 상당히 넓은 CPS선로로 간주할 수 있다. 그리고 CPS선로에서 선로폭이 선로간 간격에

비해 충분히 크다면 임피던스 특성에 크게 영향을 주는 요소는 선로폭이 아니라 선로간 간격이다. 따라서 CPS선로의 간격 d 와 리본과 유한크기를 갖는 상층유전체 사이의 간격 G 가 같게 될 경우 CPS선로의 임피던스와 불연속 부분 하단부의 임피던스는 큰 편차를 나타내지 않게 되어 전체성분의 변환이 잘 이루어지리라는 것을 예상할 수 있다. 이러한 사실을 그림 2에 그려진 주파수 특성으로부터 확인할 수 있다. 그림 3은 리본과 유한크기를 갖는 상층유전체 사이의 간격 G 를 0.4 mm로 고정하고 연결 리본의 폭 W 의 변화에 대한 주파수영역 특성을 보인 것으로, 연결 리본의 폭 W 는 주파수영역 특성에는 별 다른 영향을 미치지 않지만 폭 W 가 증가함에 따라 좋은 특성이 나타난다는 사실을 알 수 있다.



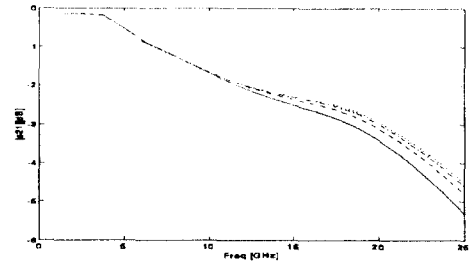
(a)



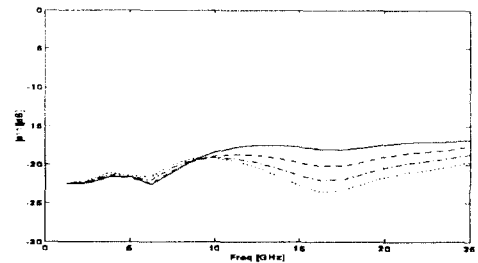
(b)

그림 2. 와이어 분당 폭 $W=0.8\text{mm}$ 일 때 간격 G 변화에 따른 주파수영역 특성. (a) 투과손실 (b) 반사손실(실선 : $G=0.2\text{mm}$, -- : $G=0.4\text{mm}$, -.- : $G=0.6\text{mm}$, : $G=0.8\text{mm}$)

그림 3. 리본과 상층 유전체 사이의 간격 $G=0.4\text{mm}$ 일 때 W 변화에 따른 주파수영역 특성. (a) 투과손실 (b) 반사손실 (실선 : $W=0.2\text{mm}$, -- : $W=0.4\text{mm}$, -.- : $w=0.6\text{mm}$, : $W=0.8\text{mm}$)



(a)



(b)

Fig. 3. Frequency response versus the wire-bonding width W at the gap $G=0.4\text{mm}$. (a) insertion loss (b) return loss (solid : $W=0.2\text{mm}$, -- : $W=0.4\text{mm}$, -.- : $w=0.6\text{mm}$, : $W=0.8\text{mm}$)

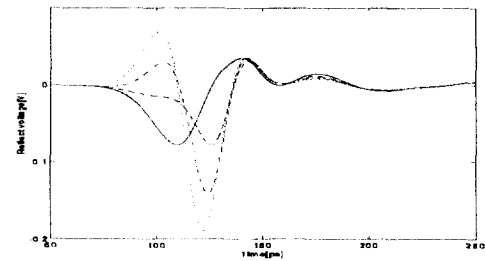


그림 4. 그림 2의 반사손실에 대한 시간영역 반사전압 파형. Fig. 4. Reflect voltage waveform for return loss of Fig. 2.

주파수영역 특성을 나타내는 그림 2와 3의 반사손실에 대응하는 시간영역 반사전압 파형을 그림 4와 5에 도시하였다. 주파수영역 특성과 동일하게 $G=0.4\text{mm}$, $W=0.8\text{mm}$ 일 때 반사전압 파형도 역시 가장 작음을 확인할 수 있다. 이상의 결과로부터 각각 다른층에 존재하는 CPS선로와 마이크로스트립선로를 와

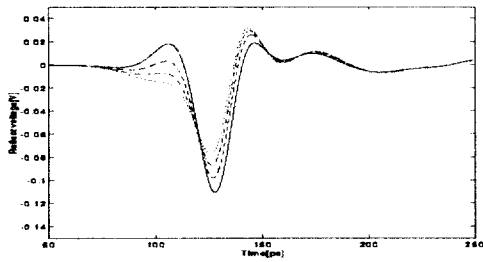


그림 5. 그림 3의 반사손실에 대한 시간영역 반사전압 파형.

Fig. 5. Reflect voltage waveform for return loss of Fig. 3.

이어 본딩할 때 CPS선로와 상층유전체층 사이의 간격이 가장 주요하게 고려되어야만 할 것이다. 그리고 MIC나 MMIC 전자소자에서 CPS 선로에 직접 동축선로를 접속하여 여기하는 것은 실제적인 경우가 아닌데 이러한 접속구조를 사용하여 여기문제 해결에 많은 도움을 제공할 것이다.

그림 6은 $G = 0.4 \text{ mm}$, $W = 0.8 \text{ mm}$ 일 때 각 포트의 기준면과 x , z 방향의 흡수경계면을 통해 빠져나가는 전력을 입사전력의 최대값으로 정규화하여 시간영역에서 도시한 것이다. 전력은 포인팅 정리(Poynting's theorem)를 적용하여 계산하였다. x 방향 즉, 접속구조의 측면 방향으로 빠져나가는 전력은 하층 유전체의 표면을 따라 전파하는 표면파에 기인하는데 이러한 접속구조가 MIC나 MMIC회로의 일부분으로 사용될 경우 근접위

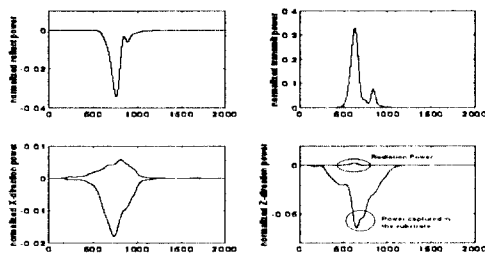
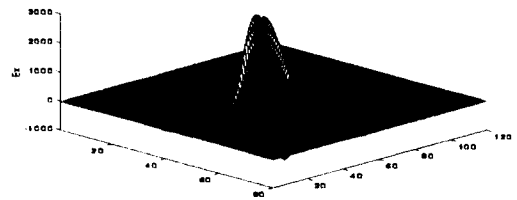


그림 6. 와이어 본딩 폭 $W = 0.8\text{mm}$, 간격 $G = 0.4\text{mm}$ 일 때 정규화된 반사전력파형, 투과전력파형 및 x, z 방향의 흡수경계면에서의 전력파형.

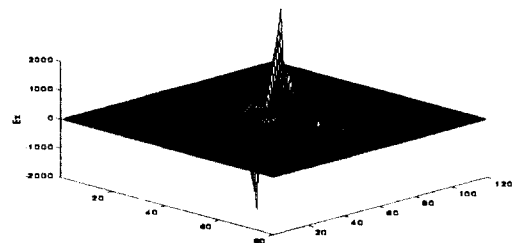
Fig. 6. Normalized reflect power, transmit power and power waveform in x, z direction outer boundary plane.

치에 놓이는 소자에 영향을 줄 수 있기 때문에, 이 전력을 살펴보는 것은 중요한 의미를 갖는다. 그림으로부터 x 방향 전력의 최대값이 입사전력의 최대값에 비해 불과 2%정도밖에 되지 않으므로 이 접속구조를 사용하는 MIC나 MMIC회로 제작시 근접해 위치하는 소자의 동작특성에 거의 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한, 자유공간으로 방사되는 방사전력은 매우 작으므로 이 접속구조를 패키징할 때, 패키징이 구조의 전송특성 변화에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 반면에 하층 유전체내에 포획되어지는 전력량은 반사전력량과 비교하여 무시할 수 없는 정도이고 유전체의 두께가 매우 크다는 것을 고려한다면, 이 전력량이 x 방향에서 표면파 형태로 빠져나가는 전력이나 자유공간으로 방사되는 방사전력보다 접속구조의 주파수영역 특성에서 고주파부근 투과손실의 증가를 야기하는 주원인이 된다고 할 수 있을 것이다.



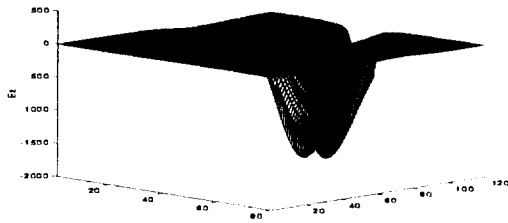
(a) 시간 스텝 $n=400$
(a) time step $n=400$

그림 7. 시간 경과에 따른 CPS선로에서의 $E_x(i, j, 2lDz)$ 분포.

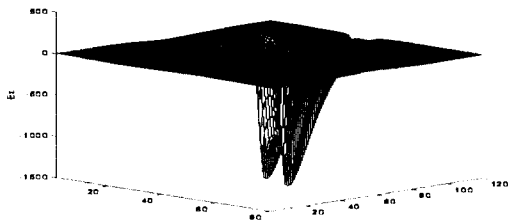


(b) 시간 스텝 $n=500$
(b) time step $n=500$

Fig. 7. $E_x(i, j, 2lDz)$ distribution of CPS for elapsing time step.



(b) 시간 스텝 n = 600
(b) time step n = 600



(a) 시간 스텝 n=500
(a). time step n=500

그림 8. 시간 경과에 따른 마이크로스트립선로에서의 $E_z(i, j, 27\Delta z)$ 분포.

Fig. 8. $E_z(i, j, 27\Delta z)$ distribution of microstripline for elapsing time step.

그림 7과 8은 구조내에서 전계 변환과정의 이해를 돕도록 $G=0.4\text{ mm}$, $W=0.8\text{ mm}$ 일 때 시간 경과에 따라 CPS선로의 E_x 성분이 마이크로스트립선로에서 E_z 성분으로 바뀌는 과정을 가시적으로 보여주고 있다. 그림 7의 E_x 분포는 CPS선로가 놓인 xy 평면상에서 취하였고, 그림 8의 E_z 성분에 대하여는 마이크로스트립 바로 밑부분의 xy 평면에서 취하였다. CPS의 수평방향 전계성분이 마이크로스트립 선로에서는 수직방향 전계성분으로 변환이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

각각 다른층에 존재하는 CPS선로와 마이크로스트립선로를 와이어 본딩으로 접속하는 구조의 전파특성을 시간영역 유한차분법을 이용하여 해석하였다. 연결 리본의 폭(W)보다 리본과 유한크기를 갖는 상층유전

체 사이의 간격(G)이 접속구조의 전송특성에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 CPS선로와 마이크로스트립선로를 와이어 본딩방식으로 접속하고자할 때 리본과 상층유전체층 사이의 간격이 중요한 설계사항이 된다. 이 간격이 CPS선로의 간격과 같게 될 경우 CPS의 E_x 성분이 마이크로스트립에서 E_z 성분으로 변환이 잘 이루어짐을 확인하였다. 앞으로의 과제는 본 논문에서 해석한 전파특성 결과를 실험에 의해 증명함으로써 이 접속구조가 MMIC 전자소자에서 CPS 선로의 역할을 위한 실질적인 접속구조로 사용될 수 있는지의 여부와 IO 스위치, 광변조기와 같은 전기광학소자의 설계시 유용하게 적용될 수 있는지에 대한 신뢰성을 확보하는 것이다.

참고 문헌

1. John J. Burke and Robert W. Jackson, "Surface-to-surface transition via electromagnetic coupling of microstrip and coplanar waveguide," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-37, pp. 519-525, March 1989.
2. Robert W. Johnson and David W. Matolak, "Surface-to-surface transition via electromagnetic coupling of coplanar waveguide," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-35, pp. 1027-1032, Nov. 1987.
3. Hung-yu Yang and Nicolaos G. Alexopoulos, "Basic block for high-frequency interconnection: theory and experiment," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-36, pp. 1258-1264, August 1988.
4. Yahia M. M. Antar, Arun K. Bhattacharyya and Apisak Ittipiboon, "Microstripline-slotline transition analysis using the spectral domain," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-40, pp. 515-523, March 1992.
5. David M. Sheen, Sami M. Ali, Mothamed D. Abouzahra, Jin Au Kong, "Application of the three-dimensional finite-difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-38, pp. 849-857, July 1990.
6. Xiaolei Zhang, Kenneth K. Mei, "Time-domain finite difference approach to the calculation of

- frequency-dependent characteristics of microstrip discontinuities," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-36, pp. 1775-1787, Dec. 1988.
7. Qiang Chen, V. F. Fusco, "Three dimensional finite-difference time-domain slotline analysis on a limited memory personal computer," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-43, pp.358-362, 1995.
8. An Ping Zhao, Antti V. Räsänen, Srba R. Cvetkovic, "A fast and efficient FDTD algorithm for the analysis of planar microstrip discontinuities by using a simple source excitation scheme," IEEE Microwave and Guided Wave Lett., vol. 5, pp. 341-343, 1995.



박 기 동(KiDong Park) 정회원
1993년 2월: 전남대학교 전자공학과 졸업(학사)
1995년 2월: 전남대학교 대학원 졸업(석사)
1995년 3월~현재: 동 대학원 박사과정
1997년 3월~현재: 동강대학 정 보통신과 전임강사

<연구분야> 초고주파 수동소자 설계, 전자파 전파 수치해석



이 현 진(HyeonJin Lee) 정회원
1982년 2월: 조선대학교 전자공학과 졸업(학사)
1991년 2월: 원광대학교 대학원 졸업(석사)
1996년 2월: 전남대학교 대학원 졸업(박사)
1997년~1998년: 미국 Pennsylvania State Univ., Post Doc

1991년~현재: 동강대학 전자과 조교수
<연구분야> 안테나, 전자파 전파 수치해석