

## 굽은 표면 플라즈몬 금속도파로의 도파 특성

### Propagation Characteristic of Curved Long Range-Surface Plasmon Waveguide

정우진, 권순우\*, 김우경\*\*, 양우석\*\*, 이형만\*\*, 이한영\*\*

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부, 한국항공대학교 항공재료공학과\*,  
전자부품연구원 나노바이오센터\*\*

[juni9842@uos.ac.kr](mailto:juni9842@uos.ac.kr)

표면 플라즈몬 금속도파로는 높은 집적도와 플렉시블한 특성으로 많은 각광을 받았으나, 높은 손실 때문에 그 응용에는 많은 제약이 있었다. 하지만, 최근에는 장거리 표면 플라즈몬 금속도파로가 등장하면서 높은 손실이 많이 개선되었으며, 플렉시블 광전 배선용으로 많은 각광을 받고 있다. 평면상으로 굽은 장거리 표면 플라즈몬 금속도파로의 굽음 손실에 대한 연구가 수행되었다.<sup>(1)</sup> 장거리 표면 플라즈몬 금속도파로를 플렉시블 기판에 응용하려는 움직임 또한 활발하나, 이 때 발생하는 금속 표면 방향으로의 굽음특성에 대한 연구는 아직 보고된 바가 없다. 얇은 두께를 가진 금속도파로의 구조상 표면 방향으로의 굽음에 매우 민감할 것으로 예견되는 바 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

본 논문에서는 채널형 표면 플라즈몬 금속도파로의 기본모드인  $ss^0$  모드에 대하여 계산하였다. 등각사상법(Conformal Mapping)을 이용하여 굽은 표면 플라즈몬 금속도파로를 직선도파로로 직선화하였고, 누설모드에 의한 굽음 손실을 얻기 위해 내부 클래딩과 외부 클래딩에 각각 Airy 함수의 정재파형과 진행파형을 적용하였다.<sup>(2)</sup> MOL (Method of Line) 기법을 이용하여 직선 표면 플라즈몬 금속도파로의 도파특성을 해석하였다.<sup>(3)</sup>

그림 1(a)는 본 논문에서 계산한 굽은 표면 플라즈몬 금속도파로의 개략도이고, 그림 1(b)는 굽음 반경이  $r_0 = 5\mu\text{m}$ , 금속도파로의 두께와 폭이  $t = 20\text{nm}$ ,  $w = 4\mu\text{m}$ , 광원의 파장  $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ , 클래딩과 코어의 굴절률이 각각  $n_1 = 1.535$ ,  $n_2 = 0.3859 - j7.965$  이고, 대칭적인 구조일 때의 TM 모드의 전계의 분포도이다.

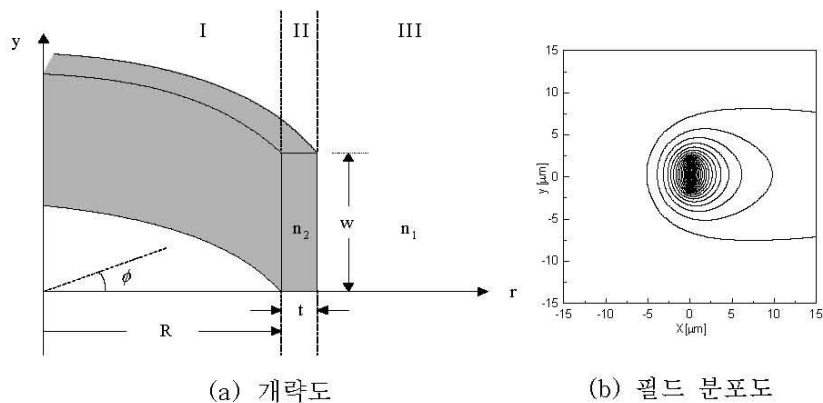
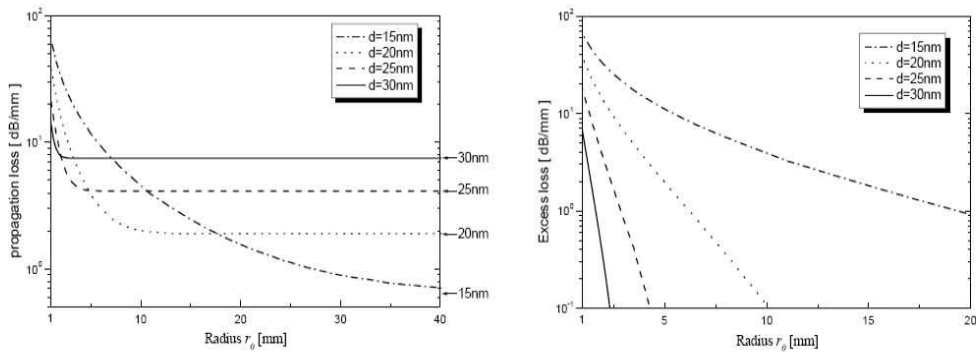


그림 1. 굽은 표면 플라즈몬 금속도파로

그림 2(a)는 굽은 반경  $r_0$ 에 의한 채널형 금속도파로의 손실의 변화를 도시화한 것이다. 굽음 반경이 커지면, 직선 금속도파로의 손실로 수렴을 하는 것을 알 수 있었다. 그리고 특정 굽음 반경에서는 두꺼운 금속도파로가 얇은 금속도파로보다 손실이 작기도 했으며, 굽음 반경이 커질수록 그런 경향이 사라지고 얇은 금속도파로의 도파손실이 작아지는 것을 확인하였다. 굽음에 의한 도파손실의 영향을 살펴보기 위해 굽은 금속도파로와 직선 금속도파로의 손실을 이용하여 굽음에 의한 추가적인 손실을 계산하였고, 그 결과는 그림 2(b)와 같다. 그림 2(b)에 의하면, 도파로의 굽음 반경  $r_0$ 가 감소함에 따라 굽음에 의한 손실이 증가함을 보였다. 특히 금속의 두께가 얇을수록 굽음에 의한 영향을 많이 받는 것을 확인하였다. 이는 유전체 도파로에서도 동일하게 발생하는 현상으로 약도파되는 조건에서 외부 클래딩의 변화가 도파형태에 많은 영향을 끼치기 때문이다.



(a) 도파 손실 (b) 도파로의 굽음에 의한 추가손실

그림 2. 굽음 반경  $r_0$ 에 의한 채널형 금속도파로의 손실 특성

$$(w = 4\mu\text{m}, \lambda = 1.3\mu\text{m}, n_1 = 1.535, n_2 = 0.3859 - j7.965)$$

두께가 15nm인 금속도파로는 직선인 경우에는 도파 손실이 매우 작지만, 굽음 반경이 수 mm일 경우에는 굽음에 의한 손실이 커서 전체 도파 손실이 수십 dB/cm에 달했다. 그리고 두께가 30nm인 경우에는 직선인 경우에는 도파 손실이 가장 컸지만, 굽음에 의한 영향이 작아서 직선도파로의 도파 손실로 빠르게 수렴하는 결과를 보였다. 상기 결과에 의하면, 장거리 표면 플라즈몬 금속도파로가 플렉시블 기관에 적용하기 위해서는 굽음 반경에 의한 굽음 손실과 금속도파로의 두께에 도파손실을 감안하여 최적의 도파로 구조를 결정해야 한다.

### 참고문헌

1. Pierre Berini, Junjie Lu, "Curved long-range surface plasmon-polariton waveguides", Optics Express, 2006, 14, pp. 2365-2371
2. W. K. Kim and C. M. Kim, "Radiation losses of bent planar waveguides", Fiber and Integrated Optics, 2002, 21, pp. 219-232
3. S. B. Worm and R. Pregla, "Hybrid-Mode Analysis of Arbitrarily Shaped Planar Microwave Structures by the Method of Line", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. 1984, MTT-32, pp. 191-196