

도파로에 의한 테라헤르츠 플라즈몬 펄스의 전파

Propagation of Terahertz Plasmon Pulse by Waveguide

전태인

한국해양대학교 전기전자공학부

jeon@hhu.ac.kr

최근 들어 도파로를 이용한 THz 펄스의 전송에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 금속선을 이용한 THz 펄스의 전송은 매우 낮은 흡수율을 가지고 있어⁽¹⁾ THz 유선통신의 가능성을 보여준다. 그리고 평형판 도파로에 의한 금속 sheet 표면으로 THz 펄스의 전송은⁽²⁾ THz 플라즈몬 분광 및 센서에 활용될 것으로 기대 된다.

금속선에 의한 THz 전송은 광학적 투명도가 좋은 silicon on sapphire 수신 또는 송신 chip을 금속선에 직접 접촉하여 송수신을 하였다. 본 연구에서는 금속선 tip의 지름이 1 μm 인 원뿔형 금속선을 사용하여 500 μm 의 원통형 tip 보다 크기가 향상된 THz 펄스를 수신하였다. 이때 측정된 THz 펄스의 크기와 spectrum을 그림 1에서 서로 비교하였다⁽¹⁾.

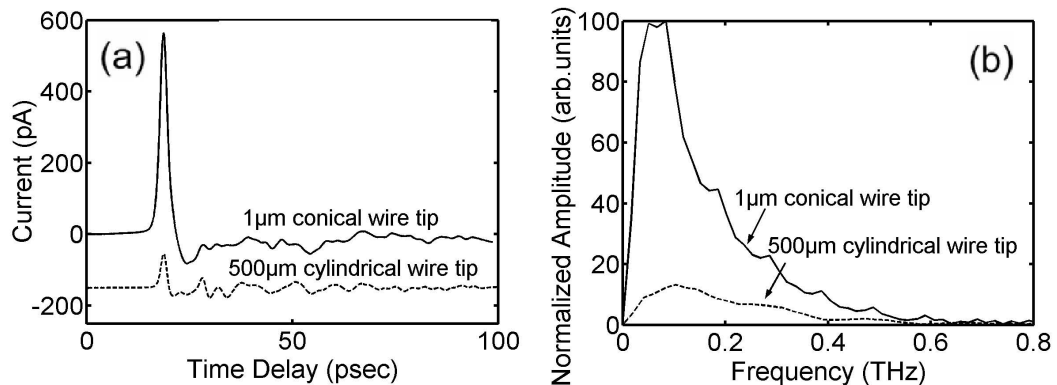


그림 1. 측정된 THz 펄스의 비교. (a) 시간영역 (b) 주파수영역.

그림 1(a)에서와 같이 금속선의 끝단을 원통형에서 원뿔형으로 하였을 경우 peak-to-peak 값이 5.3배의 큰 THz 펄스를 검출 할 수 있었다. 이는 유도된 THz 펄스의 field 분포가 원뿔의 끝단에 집중되어 단위 면적당 field intensity가 증가되었기 때문이다. 그림 1(b)는 시간영역 펄스에 대한 spectrum으로 peak 값이 약간 저주파 쪽으로 이동되었지만 전체적으로 원뿔형 금속선의 THz 펄스에 대한 spectrum이 크게 나타났다. 금속선 표면을 따라 전파하는 THz field 분포의 세기를 high-frequency structure simulation (HFSS) 통하여 확인한 결과 1 μm 의 원뿔형이 500 μm 의 원통형보다 4.9배 증가됨을 확인 할 수 있었는데 이는 실험값과 유사한 결과 이다.

한편 금속선의 지름이 무한대일 경우 금속판을 따라 전파되는 THz 플라즈몬으로 생각할 수 있다. 이러한 THz 플라즈몬을 발생시키기 위해 평행판 도파로에 의한 플라즈몬의 coupling 방법이 최근 그림 2와 같이 연구 되었다⁽²⁾.

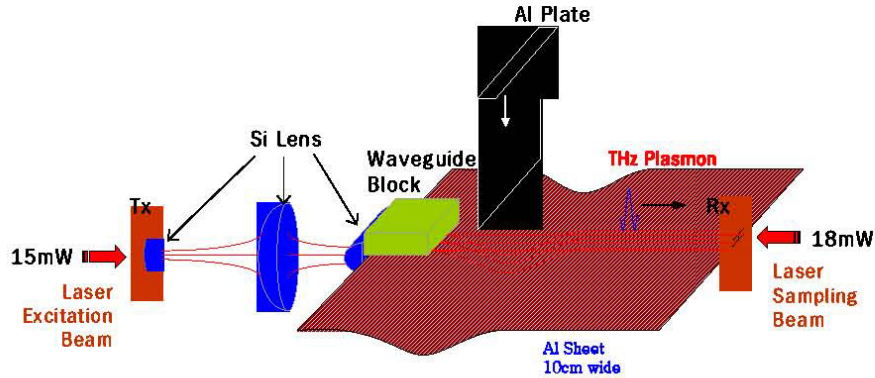


그림 2. 평행판 도파로에 의한 THz 플라즈몬의 발생과 검출 장치도

알루미늄 금속면 내부로 분포된 THz field는 수백 nanometer의 skip depth를 가지고 있지만 공기 중의 evanescent field 분포는 수십 cm 이다. 이를 측정하기 위해 그림 2의 알루미늄 금속판의 곡률 부분과 평탄한 부분에 금속 plate를 두고 plate의 끝 부분과 알루미늄의 표면 사이의 간격을 조절하며 THz 펄스의 세기를 그림 3과 같이 측정하였다. 평탄한 부분의 경우 측정된 결과로부터

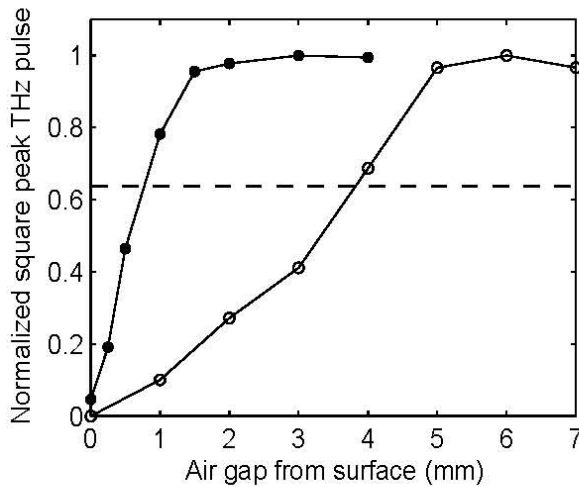


그림 3. 알루미늄 금속면과 금속 plate의 gap에 따른 peak THz 펄스의 변화. Dot 및 circle은 각각 곡면과 평면에서의 분포이다.

계산된 evanescent field 분포는 7.6mm 인데 이는 계산된 evanescent field 분포인 21.5cm 보다 28 배작은 값이다. 그리고 금속표면을 따라 전파되는 THz 플라즈몬의 전송길이는(propagation length) 측정된 값이 43.5cm으로 계산된 값 38,250cm 보다 약 900 배작은 결과를 얻었다. 이러한 결과는 금속면의 상태와 밀접한 관계가 있는데 실험에서 사용된 알루미늄의 표면이 광학적으로 평탄(flat)하지 않으며 또한 표면의 요철(rough) 역시 광학적으로 smooth 하지 않기 때문이다. 특히 표면에서의 요철은 플라즈몬을 금속면에 강하게 구속시켜 evanescent field 분포를 작게 하고 흡수율을 크게 하는 요인이 된다.

참고문헌

1. Y. B. Ji, E. S. Lee, J. S. Jang, and T.-I. Jeon, "Enhancement of the detection of THz Sommerfeld wave using a conical wire wavwguidе", Opt. Express, 16, 271 (2008).
2. T.-I. Jeon and D. Grischkowsky, "THz Zenneck surface wave (THz surface plasmon) propagation on a metal sheet", Appl. Phys. Lett. 88, 061113 (2006).