

비접촉 비파괴에 의한 균일물질 내부의 공극 측정

전태인

한국해양대학교

Air Gap Measurement in Homogeneous Material by Non-contact and Non-destructive Method

Tae-In Jeon

Korea Maritime University

E-mail : jeon@hanara.kmaritime.ac.kr

요 약

균일물질의 내부결함으로 발생하는 공기층이나 불순물층은 균일물질과 다른 굴절률을 가지고 있으므로 전자기파가 투과할 때 다굴절이 발생된다. 발생한 다굴절은 공기층이나 불순물층의 두께가 아주 작을 때 시간영역에서의 전자기파분석으로는 그 유무를 판단하는데 한계가 있다. 하지만 주파수영역에서는 다중반사에 의한 총투과율과 위상변화에 의해 그 존재유무를 판단할 수 있으며, 또한 Febry-Perot 이론에 의해 그 두께와 굴절률을 정확히 측정할 수 있다.

ABSTRACT

The air and impurity gaps generated by a defect in homogeneous material have a difference index of refraction compare to the homogeneous material. Therefore an electromagnetic wave has a multiple reflection between the two indices of refraction. If the gap has a small thickness, it is difficult to know the gap in time domain. However, the presence of the gaps can be known in frequency domain by total transmission and phase difference. Also, the thickness and index of refraction can be measured by well known Febry-Perot theory.

1. 서 론

선박이나 항공기의 본체 및 주요부품은 장시간 열악한 환경 내에서 운행되는 특징을 갖고 있다. 이러한 환경은 결국 시스템의 여러 부분에 내적 그리고 외적 열화에 영향을 미친다고 할 수 있다. 외적으로 나타나는 열화의 과정은 눈으로 쉽게 관찰 할 수 있는 반면에 물질내부에서 발생하는 결함에 의한 공기층 및 불순물층은 몇몇 특수한 경우를 제외하고는 쉽게 외관상으로 판단할 수 없다. 물체의 균열측정은 Doppler 효과에 의한 레이저 펄스의 진동패턴을 분석하여 균열의 생성 여부를 진단하는 연구가 이루어져 왔다. [1] 그리고 current potential의 강하를 측정함으로써 이들 균열의 유무를 판단하였다. [2] 전자의 방법들은 레이저 펄스가 투과하지 못하는 물질에서는 측정이 불가능하며 후자의 방법은 물질에 대한 직접적

인 접촉이 요구되는 단점을 안고 있다. 본 논문은 이러한 공기층이나 물질내부에 존재하는 불순물층을 THz 영역의 전자기파로 비접촉 비파괴의 방식으로 그 두께와 굴절률을 측정하였다. THz 펄스는 반도체 재료에 대한 투과성이 아주 좋아 [3] 여러 가지 전자부품의 결함여부를 쉽게 측정할 수 있다.

II. 본 론

THz에 대한 연구는 최근들어 활발히 진행되고 있으며 [4,5] 본 연구에서 사용한 THz 시스템은 그림 1과 같다. THz를 발생시키기 위해 사용된 Ti:sapphire 레이저는 70fs의 펄스폭과 6mW의 평균 power를 가지고 있다. 이때 발생된 THz reference 전자기펄스와 측정하고자 하는 공기층

이 균일하게 분포된 반도체를 통과한 output THz 전자기펄스를 그림 2에서 보여준다.

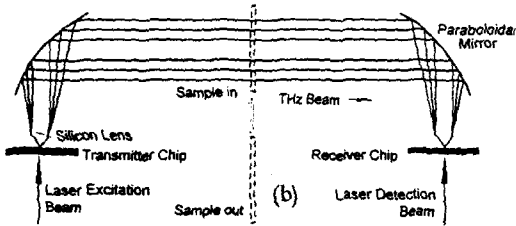
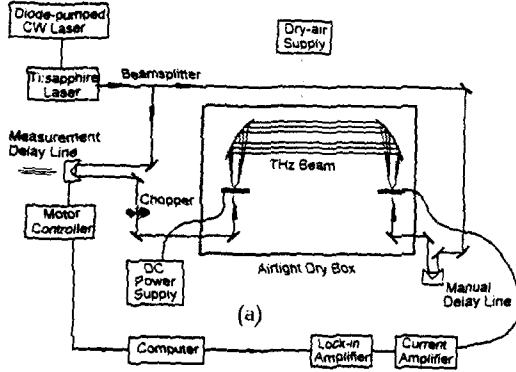


그림 1. (a) THz 실험장치. (b) THz 시스템.

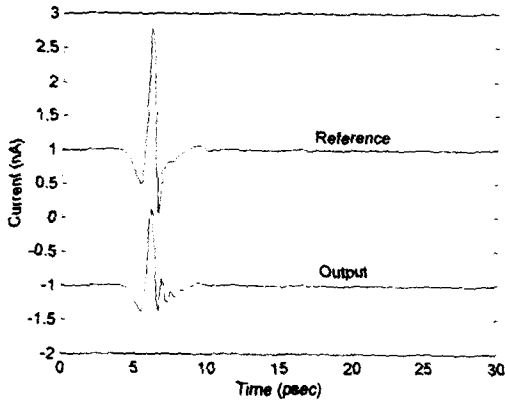


그림 2. Reference THz 펄스와 output THz 펄스.

측정된 output THz 펄스는 main 펄스 뒤로 공기층에 대해 다중반사된 여러 가지 작은 펄스들을 볼 수 있다. 이러한 다중반사된 펄스는 공기층의 두께와 굴절률에 따라 그 위치가 달리 나타난다. 즉 공기층 혹은 불순물층내에서 전자기파의 진행속도는 매질내의 굴절률에 따라 그 값이 달리 나타난다. 또한 펄스의 형태는 매질에 의한 전자기파의 흡수, 경계면에서의 반사 손실, 그리고 sample에서의 산란으로 펄스의 모양이 결정된다. 따라서 시간영역에서의 펄스위치로부터 공기층의 두께와 굴절률을 정확히 구할 수 없다.

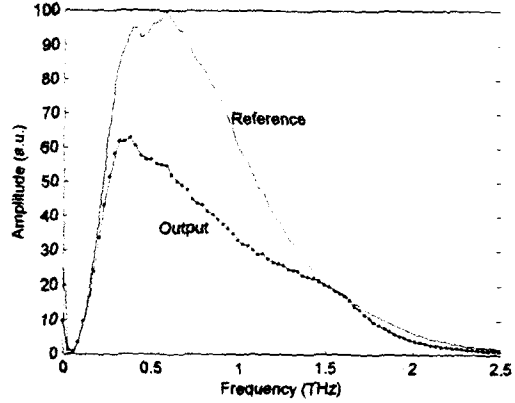


그림 3. Reference 와 output spectra.

그림 3은 이들 두 pulse의 spectra로, reference spectrum과 output spectrum은 1.6 THz 지점에서 두 spectra의 크기가 일치하고 있다. 따라서 주파수의 영역에서는 공기층의 두께와 굴절률의 두 parameter에 의한 총투과율의 크기와 모양이 결정된다. 이러한 원리는 Feby-Perot 이론으로 설명할 수 있으며, 아래의식으로 표현할 수 있다. [6]

$$t_{tot} = \frac{t_{12} t_{23} \exp(-ad/2) \exp(i\beta_0)}{1 + r_{12} r_{23} \exp(-2ad) \exp(2i\beta_0)}$$

여기서 t_{12} , t_{23} 와 r_{12} , r_{23} 는 각각 Si 와 공기 그리고 공기와 Si의 경계면에서 반사와 투과계수의 크기이다. $\beta_0 = 2\pi n_2 d / \lambda_0$ 이고 λ_0 는 free space wavelength, d 는 공기층의 두께, a 는 흡수율, 그리고 n_2 는 공기의 굴절률이다. 공기의 굴절률 n_2 는 실험값과 이론값을 반복하여 비교함으로써 구할 수 있다. 측정된 두 spectra의 비 즉, 총투과율의 크기와 위상에 의한 총투과율의 크기를 그림 4에서 비교했다.

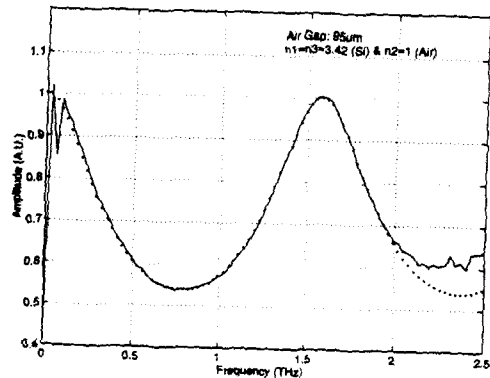


그림 4. 실험값(실선)와 이론값(점선)의 총투과율의 크기 비교.

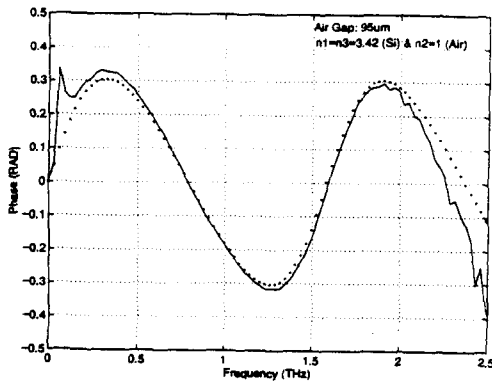


그림 5. 실험값(실선)과 이론값(점선)의 위상 변화 비교.

그림 5는 이들 다중반사에 의한 투과율의 위상 변화를 비교하였다. 그림 4와 그림 5에서 실험값과 이론값은 2THz 까지 아주 잘 일치하였으며 2THz 이상의 고주파 영역에서는 THz 펄스의 Power가 그림 3과 같이 충분하지 못한 관계로 이들 두 값에 대한 오차가 발생하였다. 그림 4의 총투과율에 대한 두 값의 비교로부터 공극의 흡수율을 구할 수 있으며, 그림 5의 위상 변화로부터 공극의 굴절률을 구할 수 있다. 측정된 굴절률은 본 THz 주파수 영역에서 1의 값을 가지며, 흡수율은 거의 0의 값을 가지고 있었다.

공극의 두께가 두꺼울수록 그림 4와 그림 5의 cos 및 sin wave의 주기는 고주파영역으로 이동되고, 공극과 외부의 물질사이의 굴절률차이가 클수록 cos 및 sin wave의 진폭이 증가됨을 알 수 있다. 실험값과 이론값의 비교로부터 공극의 두께와 굴절률을 반복보간법에 의해 결정하였다. 본 연구에서 사용된 공극의 크기는 94 μm 이며 실험에 의한 값은 95 μm 로 그의 일치함을 알 수 있었다.

III. 결 론

본 연구에서는 다중반사 이론을 통하여 균일한 물질 내부에 존재하는 공기층을 투과한 전자기펄스를 직접 해석함으로써 공기층의 두께를 비접촉 비파괴의 방법으로 1%의 오차 내에서 측정 할 수 있었다. 이러한 방법은 공기층의 두께가 작을수록 총투과율과 위상변화의 wave의 수가 일정 band 폭 내의 주파수 영역에서 증가되므로 더욱 정밀하게 실험값과 이론값을 비교 할 수 있다. Febry-Perot에 의한 방법은 공기층과 같이 주파수 영역에서 균일한 굴절률과 흡수율의 분포를 가진 매질뿐만 아니라 주파수 영역에서 변화하는 흡수율과 굴절률을 갖는 매질에서도 그 측정이 가능

하다. 이러한 매질에 대한 Febry-Perot 해석은 실수부와 허수부를 갖는 complex 굴절률과 흡수율의 parameter들로 간주해서 구할 수 있다.

본 연구에서의 비접촉 비파괴에 의한 물질내부의 결함 측정은 x-ray선과 같이 전자기파가 투과되는 여러 가지 다른 물질에 대해 기준이 방법과 달리 결함의 전기적 그리고 광학적 특성을 측정할 수 있다.

참고문헌

- [1] 이병호, 서승우, 김경석, 홍정기, "레이저를 이용한 전력기기 비파괴 열화진단 기술의 개발," 전력기술 기초연구 성과발표 논문집, pp. 351-353, 1998. 10.
- [2] 맹완영, 남호윤, 강경환, 조만, 김문환, 권혁무, 남태운, "DCPD법에 의한 316LN 스테인레스강의 고온 피로균열진전특성," 한국원자력학회 97춘계학술발표회논문집 II, pp.36-39, 1997. 5.
- [3] D. Grischkowsky, Soren Keiding, Martin van Exter, and Ch. Fattinger, "Far-infrared time-domain spectroscopy with terahertz beams of dielectrics and semiconductors," J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 7, No.10, PP. 2006-2015, 1990. 10.
- [4] Tae-In Jeon and D. Grischkowsky, "Characterization of optically dense, doped semiconductors by reflection THz time domain spectroscopy," Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 23, PP. 3032-3034, 1998. 6.
- [5] Tae-In Jeon and D. Grischkowsky, "Observation of a Cole-Davidson type complex conductivity in the limit of very low carrier densities in doped silicon," Appl. Phys. Lett., Vol. 72, No. 18, pp. 2250-2261, 1998. 5.
- [6] M. Born and E. Wolf, "principle of Optics," Pergamon Press, Oxford, 1987.