

시간 분석 및 짧은 시간 구간별 주파수 분석을 이용한 반사형 테라헤르츠파 비파괴 검사

남궁찬, 조상흠, 안창범
 광운대학교 전기공학과

Terahertz reflection nondestructive test by time analysis and short-time Fourier analysis

Chan Nam-Gung, Sang-Heum Cho, Chang-Beom Ahn
 Dept. Electrical Engineering, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문에서는 물체 내부를 파괴하지 않고 검사 할 수 있는 방식 중에 인체에 무해한 테라헤르츠파를 이용하여 짧은 시간 영역과 짧은 시간 주파수 영역을 분석하고, 집적회로 샘플을 대상으로 실험하였으며 짧은 시간 주파수 영역을 분석함으로써 비파괴 검사를 할 수 있다는 가능성을 제시하였다.

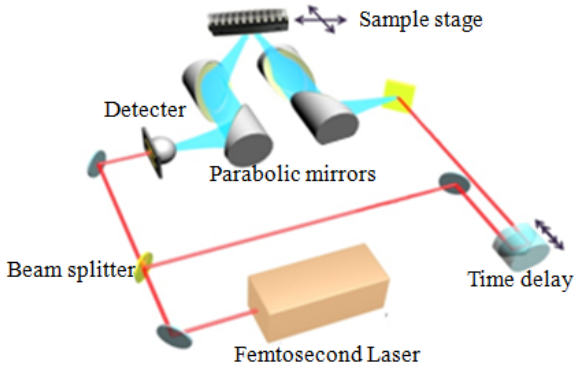
1. 서 론

테라헤르츠파는 마이크로파와 적외선 사이의 주파수 0.1~10THz 대역으로 파장이 1mm~30um 인 전자기파를 뜻하며, 파장이 길어 투과성이 높으면서도 비파괴 검사에 흔히 사용되는 X-선과 다르게 인체에 해를 입히지 않는다는 장점이 있어서 비파괴 검사에 대한 많은 연구들이 진행 중에 있다.

2. 본 론

2.1 실험

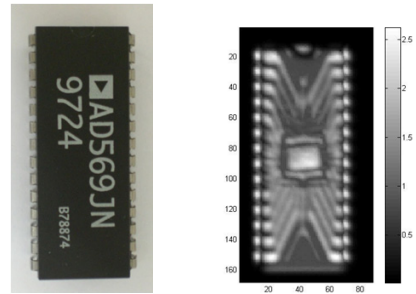
본 실험은 고정된 장치에서의 펄스 레이저를 이용하여 유도된 테라헤르츠파 전자기파가 샘플 표면에 입사시킨 뒤 반사된 신호를 안테나를 통해 측정한다. 이 반사형 단일 픽셀 테라헤르츠파 영상 장치(그림 1)를 사용하여 한 픽셀당 36ps 동안에 시간 지연을 주어 512개의 데이터를 측정 하였으며, 픽셀 간격은 250um씩 이동하며 실험하였다. 집적회로(그림 2)의 실측 크기는 가로 13mm, 세로 36mm이고, 데이터의 크기는 여백을 포함해서 x축으로 88픽셀, y축으로 168픽셀을 측정하였다.



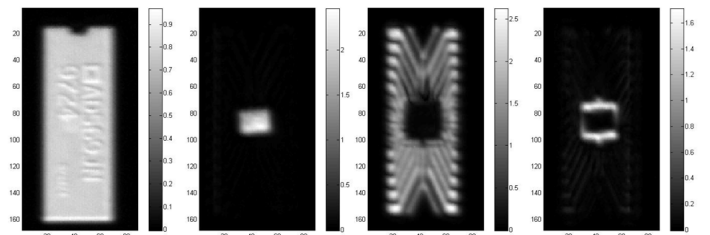
〈그림 1〉 반사형 단일 픽셀 테라헤르츠파 영상 장치

2.1.1 짧은 시간 영역 분석

일반적으로 시간 축에서 최고점만을 이용하여 영상화(그림 2)하는 것에는 한계가 있다. 시간 지연을 통해 얻은 512개 데이터는 샘플의 깊이 정보를 담고 있기 때문에 짧은 시간 분석을 하였고, 전체적인 시간 축을 보았을 때 비파괴검사를 하는데 한계가 있어서 짧은 시간으로 나누어 분석을 하였다. 분석 방법으로는 짧은 시간으로 나누어 영상화 하는 장의 크기를 32로 하였다. 그림 3의 왼쪽부터 54~85, 198~229, 245~276, 295~326의 단일 픽셀의 짧은 시간 영역에서 최고치를 사용하여 영상화 하였다.



〈그림 2〉 집적회로의 광학 영상과 전체 시간 구간별 최고치 영상



〈그림 3〉 짧은 시간 영역에서 최고치 영상

2.2 짧은 시간 주파수 영역 분석

시간 영역에서의 구간의 크기를 32로 하여 각각 54~85, 198~229, 245~276, 295~326을 사각 창 및 가우시안 창을 이용한 짧은 시간 주파수 변환(Short Time Fourier Transform)[1]을 하였고, 수식 1에 의거하여 0.889THz의 영상(그림 4, 5)을 재구성 하였다. 수식 1에서 T는 전체 시간, t는 시간, 아래첨자 s는 짧은 구간, f는 주파수를 의미하고 짧은 주파수 영역에서 2번째 영상이 선명하다.

$$T = 36ps$$

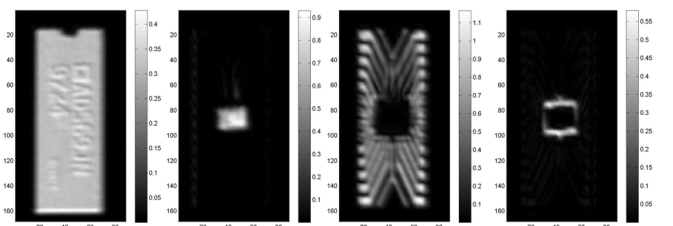
$$\Delta t_s = T/512 = 7.0312 \times 10^{-14}$$

$$T_s = 32 * \Delta t_s = 2.2500 \times 10^{-12}$$

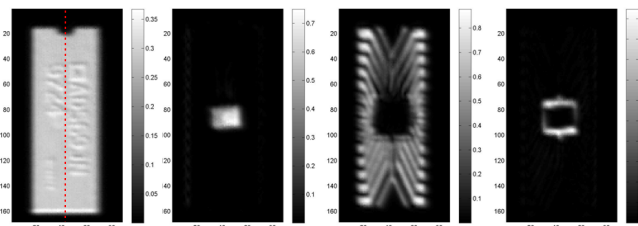
$$\Delta f_s = 1/T_s = 4.4445 \times 10^{11}$$

$$\text{Frequency for STFT} = 2 * \Delta f_s = 0.889 THz$$

〈수식 1〉 2번째 영상에 대한 주파수 계산식



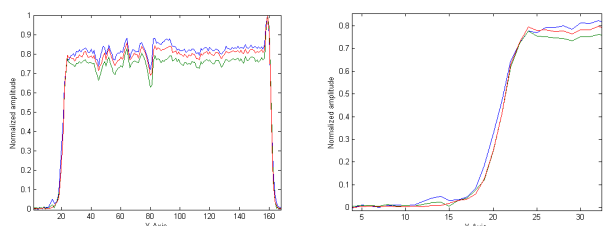
〈그림 4〉 2.25ps의 사각 창을 이용한 짧은 시간 구간별 0.889THz 영상



〈그림 5〉 2.25ps의 가우시안 창을 이용한 짧은 시간 구간별 0.889THz 영상

2.2.1 짧은 시간 및 짧은 주파수 분석 비교

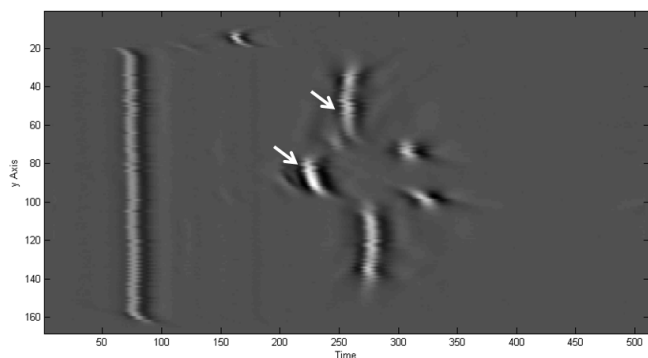
짧은 시간 영역에서 최고치를 사용한 영상의 단면(그림 6-녹색 선)보다 사각 창을 이용한 짧은 시간 주파수 영역에서 0.889THz 영상의 단면(그림 6-파란색 선)을 보았을 때, 경사가 급한 것을 볼 수 있으며 사각 창과 가우시안 창을 이용한 영상의 단면을 비교해 보면 가우시안 창을 이용한 영상의 그래프(그림 6-빨간색 선)에서 잡음이 작은 것을 확인할 수 있었다.



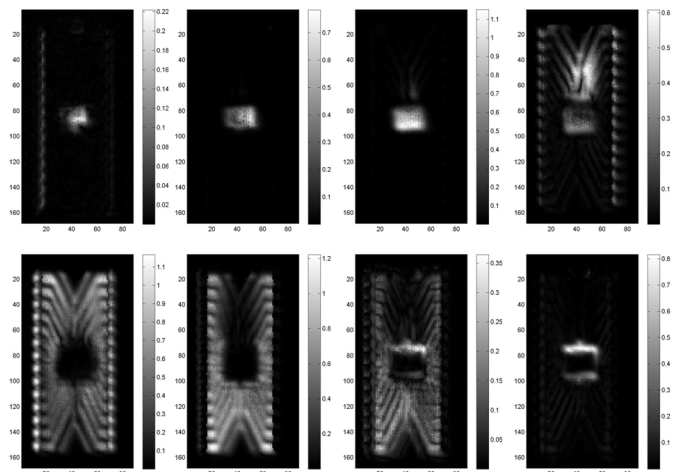
〈그림 6〉 그림 5의 점선 단면 그래프(파란색 선: 짧은 시간 영역의 최고치 영상의 단면, 녹색 선: 짧은 시간 주파수 영역의 사각 창을 이용한 영상의 단면, 빨간색 선: 짧은 시간 주파수 영역의 가우시안 창을 이용한 영상의 단면)와 확대 그래프

2.2.2 비파괴 검사 및 실험 결과

샘플의 직교 좌표계 X축의 단면(그림 5)과 Z축의 단면(그림 7)으로 집적회로의 내부를 확인 해봄으로써 도선의 문제는 없으나 도선 부분의 중앙과 상단 부분이 불안정해 보여 좀 더 자세히 보기 위해서 짧은 시간 주파수 영역에서 가우시안 창을 16으로 재구성(그림8) 해보았다. 각각의 영역은 192~207, 208~223, 224~239, 240~225, 256~271, 272~287, 288~303이고 짧은 구간의 단면을 보았을 때 도선의 상단 부분이 다른 부분보다 떠 있는 것을 다.



〈그림 7〉 x축의 43번째 단면



〈그림 8〉 1.125ps의 가우시안 창을 이용한 짧은 시간 구간별 0.889THz 영상

3. 결 론

본 연구에서는 인체에 무해하고 무한한 발전이 가능한 테라헤르츠파를 사용하여 비파괴 검사를 할 수 있다는 가능성을 실험하였고, 빠르게 발전 하고 연구되는 테라헤르츠파 관련 장치들이 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] Zhongping Jian, Jeremy Pearce and Daniel M Mittleman, "Two-dimensional photonic crystal slabs in parallel-plate metal waveguides studied with terahertz time-domain spectroscopy", IOP, Semicond. Sci. Technol. 20, S300 - -S306, 2005
 [2] Daniel M. Mittleman, Stefan Hunsche, Luc Boivin, and Martin C. Nuss, "T-ray tomography", Opt. Lett. 22, 904-906, 1997
 [3] B. Ferguson, S. Wang, D. Gray, D. Abbot, X-C Zhang, "T-ray computed tomography", Opt. Lett. 27, 1312, 2002.
 [4] S. Wang, B. Ferguson, D. Abbott and X-C. Zhang, "T-ray Imaging and Tomography", Journal of Biological Physics 29: 247-256, 2003
 [5] S Wang, X-C Zhang, "Pulsed terahertz tomography", J. Phys. D: Appl.Phys.37, 2004