

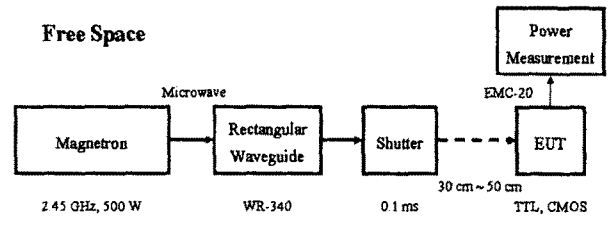
인위적으로 발생된 전자파에 의한 반도체 소자의 파괴 효과

홍주일, 황선욱, 황청호, 박신우, 허창수,
인하대학교

Destruction Effect of Semiconductors by Impact of Artificial Microwave

Joo-Il Hong, Sun-Mook Hwang, Cheong-Ho Hwang, Shin-Woo Park, Chang-Su Huh
Inha University

Abstract - 이 논문은 인위적으로 전자파를 발생시켜 이 전자파에 의한 반도체 소자의 피해 효과를 조사한 것이다. 동작주파수가 2.45 GHz인 마그네트론으로부터 발생되는 전자파는 끝단이 개방되어있는 도파관을 통해 자유공간으로 전파되고, 도파관 끝단으로부터 30 cm ~ 50 cm인 지점에 반도체 소자들을 위치시켜 동작상태를 확인하였다. 시험에 사용된 피시험체인 반도체 소자로는 TTL과 CMOS 기반기술의 반도체를 사용하였고, LED 구동회로를 구성하여 LED의 점등 여부로 오동작 및 파괴 여부를 육안 식별하였다. 또한 시험 전후의 반도체 소자 표면을 제거 후 칩 상태를 SEM 분석하였다. 시험 결과 도파관 끝단으로부터 50 cm, 40 cm 떨어진 지점에 반도체 소자를 위치시키고 도파관 끝단에서 발생하는 전자파에 의한 반도체 소자의 피해는 전혀 없었다. 그러나 30 cm 떨어진 지점에서 오동작 및 파괴가 일어났다. 오동작 및 파괴가 일어난 시료의 칩 상태를 SEM 분석한 결과 칩 내부의 onchipwire의 용융으로 인한 파괴와 bondingwire의 완전 파괴를 확인할 수 있었다. 위의 시험 결과는 인위적인 전자파 환경에서 반도체 소자의 결함 기구를 해석하는 기초 자료로 활용되며, 전자 장비들의 전자파 장애에 대한 이해에 도움이 되는 자료로 활용될 수 있을 것이다.



<그림 1> 전자파에 의한 반도체 소자의 피해 시험 개략도

시험 전후의 반도체 소자들의 내부 칩 상태를 관찰하기 위해 몰딩 되어있는 반도체 소자 표면을 Decaper를 활용하여 효과적으로 제거하였고, 주사 전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)으로 칩 상태를 관찰하였다.

1. 서 론

오늘날 디지털 기술과 반도체 기술 등의 급속한 발달은 전자산업 및 컴퓨터 기술을 눈부시게 발전시키고, 전기나 전자 장치의 경량화, 소형화, 고속화와 광대역화를 가능하게 했다. 또한 이들을 적은 구동 에너지로도 동작시킬 수 있게 하였다. 한편, 이들은 인위적인 제어가 어려운 자연 현상을 원인으로 하는 미소한 전자파 장애에도 민감하게 반응하여 오동작을 일으킬 우려가 커지고, 많은 전기나 전자 장치가 사회 각 분야에 보급됨에 따라 전자파 밀집도가 증가하여 기기들이 원래의 목표대로 동작하지 못하는 등 많은 문제점들이 나타나고 있다[1-2]. 따라서 여러 연구자들이 이러한 문제점들이 어떠한 메카니즘에 의해 일어나며 이를 해결하기 위해 많은 연구를 하고 있다[3-5]. 그러나 이러한 연구 결과를 바탕으로 전자파에 의한 반도체 소자와 같은 전자부품을 사용하는 모든 전자장치들에서의 전자 환경을 규격화하기에는 정보가 부족한 실정이다.

이 연구에서는 주파수뿐만 아니라 전자계가 높은 인위적인 전자파 환경에서 반도체 소자의 피해효과를 분석한 것이다. 발진주파수가 2.45 GHz이며, 정격 출력이 500 W인 마그네트론에서 발생하는 전자파에 의해 자유공간에 있는 반도체 소자의 영향을 시험하였고, 이 전자파에 의해 오동작 및 파괴된 반도체 소자의 피해를 SEM 분석을 통하여 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

전자기기나 반도체 소자의 피해를 조사하기 위해 수십 또는 수백 GHz 이상의 높은 주파수를 가지며, 높은 전자계를 발생시키는 발생장치를 사용하여 시험하는 것은 매우 위험하고 어려운 일이다. 따라서 이 논문에서는 인위적으로 발생되는 전자파원으로 전자기기에 해를 미칠 수 있는 비교적 주파수가 높고, 고출력을 발생시키는 조작이 간편하고 안정적인 마그네트론을 사용하였다. 시험에 사용된 마그네트론의 발진 주파수는 2.45 GHz이며, 정격 고주파 출력이 500 W인 마그네트론이 사용되었다. 마그네트론으로부터 발생되는 전자파는 규격 WR-340 구형 도파관을 따라 전달되며, 이 도파관은 끝단이 개방되어있어서 도파관에 의해 전달되는 전자파는 자유공간으로 방사된다. 전자파 방사량을 제한하기 위하여 도파관 끝단에 셔터(shutter)를 제작하여 전자파 방사 시점에 따른 전자파 방사량을 조절하였으며, 셔터가 개방될 때 전자파가 방사되도록 구성하였다.

개방된 도파관 끝단으로부터 거리 30 cm ~ 50 cm 떨어진 지점에 피시험체인 반도체 소자를 위치시켜 반도체 소자의 장애를 관찰하였다. 시험에 사용된 반도체 소자는 TTL, CMOS 기반기술의 반도체 소자들이 사용되었으며, 전자파에 의한 피해를 육안으로 쉽게 판별하기 위해 LED 회로를 구성하여 피시험체의 이상 유무를 육안 관찰할 수 있도록 하였다. 셔터가 개방되고 도파관 끝단에서 전자파가 방사될 때 도파관 끝단으로부터 일정거리 떨어진 지점에서의 전계강도는 Wandel & Gottermann사의 전자파 측정 장치 EMC-20으로 측정하였다. 그림 1은 인위적으로 발생된 전자파에 의한 반도체 소자에 미치는 영향을 조사하기 위해 구성된 실험장치 개략도이다.

2.2 실험 결과 및 고찰

전자 장비를 구성하는 대표적인 구성 요소 중에서 반도체 소자가 전자파에 의한 피해를 독일 Hanover 대학의 연구자인 M. Camp에 의해 많이 연구되었다[3-5]. M. Camp 연구에 의하면 일반적으로 반도체 소자의 영구적인 파괴는 크게 세 가지의 다른 손상 효과를 보여준다. 전자파에 의해 형성된 전계의 세기가 낮은 부분에 노출된 반도체 소자의 내부 칩은 다이오드, 트랜지스터 또는 저항과 같은 component에서 손상이 일어난다. 만약 전계의 세기가 증가하면 선택에 의한 효과를 제외한 pcb 트레이는 녹는 onchipwire 파괴와 다수 component의 영구적인 파괴가 발생된다. 여기서 전계의 세기가 더욱 증가하면 bondwire의 파괴와 더불어 다수 onchipwire, component의 영구적인 파괴로 진전하게 된다[3].

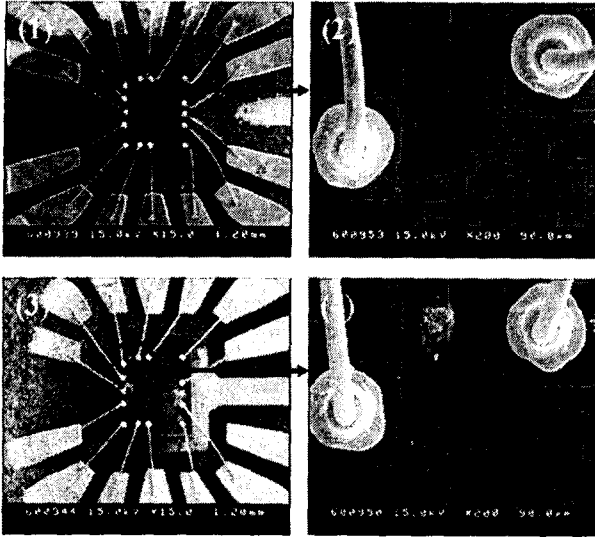
인위적으로 발생된 전자파에 의해 반도체 소자의 피해 전계 강도를 알아보기 위해 도파관 끝단으로부터 각각 50 cm, 40 cm, 30 cm 떨어진 곳에서의 최대 전계 강도를 10회 측정하고 평균 전계 강도를 구한 결과를 표 1에 나타내었다.

<표 1> 개방된 도파관 끝단으로부터 떨어진 지점에서의 평균 전계 강도

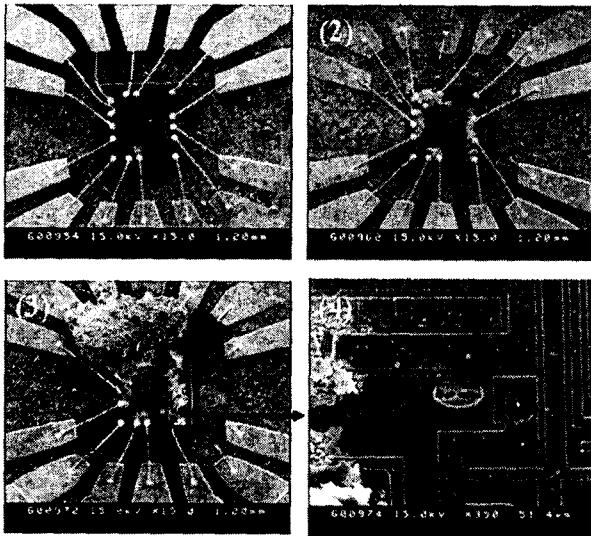
전계강도 \ 거리	50 cm	40 cm	30 cm
E-Field [V/m]	634	813.5	1,162.4

그림 2와 그림 3은 전계 강도를 측정된 각각 떨어진 동일한 곳에 반도체 소자를 위치시키고 전자파를 방사시켰을 때 반도체 소자의 내부 칩 상태를 초기 상태와 비교한 것으로 전자파 방사 후 반도체 소자의 내부 칩이 상당히 손상된 것을 보여준다.

도파관 끝단으로부터 각각 50 cm, 40 cm 떨어진 곳에 위치한 반도체 소자들은 전자파에 의해 오동작이나 파괴와 같은 현상이 발생되지 않았다. 그러나 도파관 끝단으로부터 30 cm 떨어진 곳에 위치한 반도체 소자는 일시적으로 오동작을 일으키거나 파괴가 일어났다. 이러한 현상은 CMOS, TTL 소자들 모두 공통적으로 발생하였다. 그림 3은 그림 2보다 더욱 심각한 손상을 보여준다. 파괴된 반도체 소자의 칩 상태를 관찰하는 것은 어려웠는데 이것은 칩 위의 onchipwire가 녹으면서 칩 주위에 몰딩 되어있는 재료에 영향을 주어 금속과 고분자 물질의 혼합된 형태로 칩 위에 부착되어 반도체 표면의 제거를 어렵게 만든 것으로 사료된다. 이러한 onchipwire의 파괴와 더불어 bondwire의 파괴도 관찰되었다. Bondwire의 파괴는 보통 onchipwire가 bondwire 보다 더욱 적은 교차점을 가지고 있기 때문에 onchipwire의 파괴 강도보다 높은 것을 알려지고 있다. 이러한 onchipwire와 bondwire의 파괴는 재료의 녹는 형태로 발생된다. 이러한 현상은 반도체 소자의 내부 칩위의 교차점에 매우 높은 전계가 집중되어 금속선은 수 ns 시간에 수백 K의 온도로 상승하여 금속이 녹는 열적 파괴에 도달하기 때문이다[5].



〈그림 2〉 74HC08(CMOS AND) 반도체 소자의 전자파 노출 전후
 (1) 시험 전(×15) (2) 시험 전(×200)
 (3) 시험 후(×15) (4) 시험 후(×200)



〈그림 3〉 74HC00(CMOS NAND)과 74LS00(TTL NAND)
 반도체 소자의 전자파 노출 전후
 (1) 시험 전(74HC00) (2) 시험 후(74HC00)
 (3) 시험 후(74LS00) (4) 시험 후(74LS00)

3. 결 론

이 논문에서는 전자 장비를 구성하는 구성 요소 중 반도체 소자를 대상으로 인위적으로 발생된 전자파에 의해 어떻게 영향을 받는지를 조사한 것이다. 발진주파수가 2.45 GHz이고 최대 정격 출력이 500 W인 마그네트론으로부터 발생하는 전자파가 도파관을 통하여 자유공간으로 방사되고, 방사되는 전자파의 세기를 도파관 끝단으로부터 각각 50 cm, 40 cm, 30 cm 떨어진 위치에서 전계의 세기를 측정하였다. 전계의 세기를 측정된 동일한 위치에 반도체 소자를 위치시키고 반도체 소자의 피해 효과를 분석한 결과 50 cm, 40 cm 떨어진 지점에서 반도체 소자의 오동작 및 파괴 현상은 발생되지 않았다. 그러나 30 cm 떨어진 전계의 세기가 1.162.4 V/m인 위치에 놓인 반도체 소자들의 경우 저항, 다이오드, 트랜지스터와 같이 동작하는 전기적인 component의 심각한 손상과 onchipwire, bondwire가 녹는 영구적인 완전파괴를 확인할 수 있었다. 본 연구 결과와 같이 반도체 소자 내부의 onchipwire나 bondwire가 녹아 완전 파괴가 일어나는 것이 아니라 완전파괴에 도달하기 이전의 현상을 이해하는 것이 필요하며, 전계 강도를 조절하는 시스템의 개선이 필요하다.

반도체 소자들의 전자파에 의한 피해 전계 강도를 정량화하여 반도체 소자들의 전자 환경을 규격화하기 위해서는 여러가지 기술 기반의 반도체 소자들을 대상으로 시험할 필요가 있다. 따라서 본 연구의 결과는 전자파에 의한 반도체 소자의 피해 효과를 이해하는 기초 시험이 될 수 있고, 전자장비의 보호 기술에 활용되는 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

【참 고 문 헌】

- [1] 김기재, 김동일, 명노훈, 박동철, 이영훈, "전자파환경공학", 대영사, 2001
- [2] D. Taylor, D. V. Giri, "High-power microwave systems and effects", Washington, D. C., Taylor & Francis, 1994
- [3] M. Camp, H. Garbe, D. Nitsch, "Influence of the technology on the destruction effects of semiconductors by impact of EMP and UWB pulses", IEEE Trans. on EMC Vol. 1, pp. 87-92, 2002
- [4] D. Nitsch, M. Camp, F. Sabath, J. L. Haseborg, H. Garbe, "Susceptibility of some electronic equipment to HPEM threats", IEEE Trans. on EMC, Vol. 46, No. 3, pp.380-389, 2004
- [5] S. Korte, M. Camp, H. Garbe, "Hardware and software simulation of transient pulse impact on integrated circuits", IEEE EMC 2005 International Symposium, Vol. 2, pp. 489-494, 2005