



# 적외선 열화상 기술을 이용한 마이크로 디바이스의 모니터링

홍광욱, 이영준, 김주형\*

(인하대학교)

## 1. 머리말

최근 첨단 기술의 발달로 디바이스의 소형화가 이루어지고 있으며 이와 동시에 안전에 대한 관심이 대두되면서 각종 진단/감시 기술 및 장비에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 소형 디바이스에 대한 감시 기술로는 적외선 열화상 기술(infrared thermal technology, IRT)이 각광받고 있으며 실제 많은 산업분야에서 사용되기 시작하였다. 적외선 열화상 기술은 복사되는 열에너지의 분포를 적외선 검출기를 통해 복사 강도의 분포도로 표현한 것이다. 절대온도 이상의 모든 물체는 적외선을 복사하기 때문에 적외선 열화상 기술은 비접촉방식으로 대상의 열화상 이미지를 표현할 수 있다. 적외선 열화상 기술은 비파괴 검사방식으로 다양한 분야에 사용되고 있다. 이 글에서는 전자 산업 분야에서 마이크로 사이즈의 소형 디바이스에 대한 적외선 열화상 기술의 응용 현황을 소개하고자 한다.

## 2. 적외선 열화상 기술을 이용한 마이크로 전자 디바이스 진단 감시 현황

적외선 열화상 기술은 전자/전기 분야에서 열 방출 및 손실을 측정하는데 편리하게 사용된다. 전자분야에서 적외선 열화상 기술은 부식/부하

의 불균형, 과부하, 전선의 마모, 손상된 연결부 등에서 발생하는 열적 불균형 문제 등에 주로 사용된다. 이 글에서는 IRT의 passive와 active 방법을 사용한 전자장치의 결함을 검출하고 판단하는 기법에 대하여 설명한다. 또한 active 방법에서 transient/lock-in 모드의 검출기법을 통하여 국부적인 범위에서 명확한 위치의 결함을 판별할 수 있다.

### 2.1 Passive approach

수동 모드에서 열화상 검출법은 외부로부터 열적 자극을 가하지 않고 물체 자체 스스로가 동작을 하면서 방출하는 열량을 측정하는 방법이다. 이러한 수동적 방법의 열화상 기법은 주로 동작하는 전자 장비 또는 인체의 온도 분포 관찰 시에 사용이 된다<sup>(1)</sup>.

#### (1) Diagnosis of solar modules

태양광발전은 석유자원이 고갈되어가는 현재 가장 현실적인 에너지원이며 대중화 되어있는 신재생에너지 기법이다. 태양광 발전이란 태양 전지를 이용하여 태양광 에너지를 전력으로 변환하는 발전 방식으로 태양 전지판을 사용하여 전력을 생산하는 발전 방식이다. 태양 전지판은 지리적 특성과 입사광의 스펙트럼에 따라 매우 민감하고 큰 차이를 보이게 되는데, 이러한 환경적 변수를

\* E-mail : joohyung.kim@inha.ac.kr

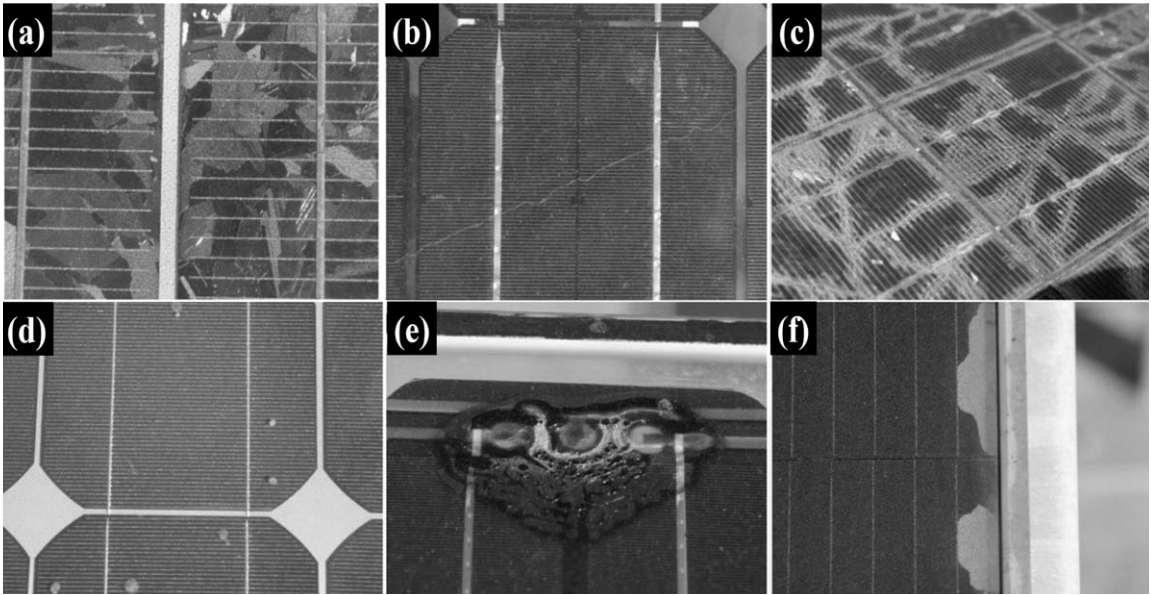


그림 1 태양 전지판 결함의 예<sup>(2)</sup>

줄이기 위하여 태양 전지판을 기후 및 계절 등에 영향을 지역에 설치될 하게 된다. 또한 이와 같은 발전시설은 상당히 오랜 시간 동안 구동을 하게 되는데 이에 따른 진단기법은 필수적이다. 대표적인 태양 전지판의 결함으로는 변색, 균열, snail tracks, 반사방지막 코팅 손상, soiling, busbar의 산화 및 부식, 절연체, 물리적 손상 등이 있다<sup>(2)</sup>.

이러한 결함을 검출하기 위해 가장 단순하고 편리하게 측정이 가능한 수동적 방법이 다양하게 사용되고 있다. 수동적 방법으로 수집된 데이터는 장치를 구동하면서 실시간으로 모니터링이 가능하고 장치구동 시간에 따른 디바이스의 온도의 변화에 대해서도 모니터링이 가능하기 때문에 전기/전자 분야에서뿐만 아니라 기계 및 건설 분야에서도 다양한 활용도를 보여 주고 있다. 특히 태양 전지에서는 각 입력 전력 값에 따른 디바이스에서의 열적변화량 값을 모니터링 하고 이에 따라 결함을 확인할 수 있다<sup>(2)</sup>. 수동적 열화상 기법을 이용하여 측정된 데이터는 line profile analysis(LPA)를 통하여 특정 위치의 값을 2차원 함수를 통하여 분석이 가능하다. LPA를 통한 분석은 측정자의 목적에 따라 관심영역(ROI)의 일부 구간을 선택하여 측정이 가능하며 전체

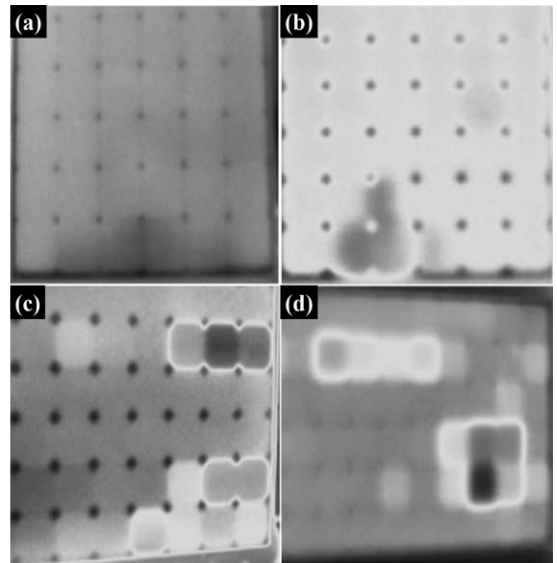


그림 2 입력 값에 따른 태양 전지판의 열적 변형 (a) 190~165  $W_p$ , (b) 170~155  $W_p$ , (c) 175~50  $W_p$ , (d) 190~1  $W_p$ <sup>(2)</sup>

적인 측정 후 이상구간과 정상구간에 대한 측정을 LPA를 통해 대수적 비교가 가능하며 각 구간별 편차에 의한 상태해석이 가능하다<sup>(3)</sup>.

## (2) Diagnosis of power device

전력계통의 장비들에서는 고전압/고전류에 따

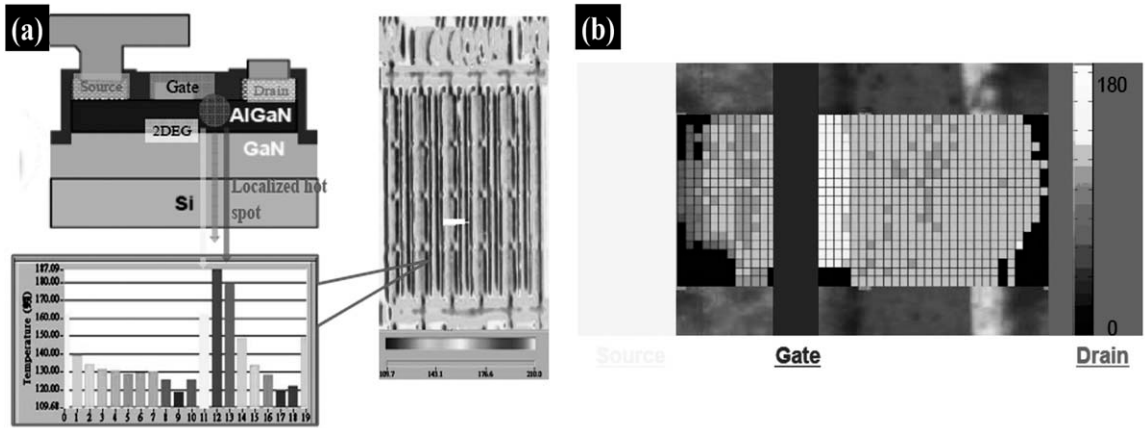


그림 3 (a) 적외선 열화상 기술과 (b) Raman spectroscopy를 이용한 HEMTs의 열적 분석<sup>(8)</sup>

른 과부하 발생 시 발열에 대한 문제점을 내재하고 있다. 이에 따른 유지/보수에 대한 시스템의 고장감소, 인력 활용성을 증대, 생산능력 증가, 장비의 유지/보수비용 감소 및 수명 연장 등의 다양한 이점을 통해 예측/예방법에 대한 방법들이 중요시 되고 있다. 전력계통의 대표적인 결함으로는 변압계의 쿨링시스템의 문제에 따른 온도 상승, 회로문제에 의한 온도 변화, 퓨즈의 결함에 의한 과부하 발열, 산화 및 먼지 등에 의한 스위치 문제, 절연체 문제에 의한 이상현상 등에 의해서 온도 변화가 전력 장치들의 화재를 발생할 수 있다<sup>(4)</sup>. 이러한 장비들은 주기적으로 검사 및 점검이 필요하지만 검사 시에 발생하는 시간, 비용의 소비는 불가피한 실정이다. 이를 보완하기 가장 적절한 방법으로 적외선 열화상 기법이 대두되고 있다. 적외선 열화상 기술은 장비해체 및 재조립이 불필요하고 동시다발적인 모니터링이 가능하기 때문이다.

대규모 전력계통뿐만 아니라 마이크로 반도체 소자에서 사용되는 전력소자인 트랜지스터 또한 적외선 열화상 기법을 사용한 모니터링 기법은 유용하게 사용되고 있다. 고전력을 사용하는 diode, insulated gate bipolar transistor(IGBTs) 등의 연구 분야에서는 600 V/200 A 정도의 높은 전력 제어를 통한 전자소자에 대한 개발을 진행하고 있다. 여기서는 다이오드의 anode-cathode간의 전열 및 연결 특성, 전자소자와 bonding wire간의 연

결 상태가 매우 중요한 요소로 작용하는데 구동하는 전자소자의 특성을 적외선 열화상 기술을 사용하여 모니터링할 수 있다<sup>(5)</sup>.

수동적 열화상 기법을 사용할 시 추가적인 기법을 사용하여 영상을 분석하고 평가를 하게 되는데 AlGaIn/GaN 기반의 high electron mobility transistors(HEMTs) 전력 전자 소자의 개발에 있어서 source-drain-gate간의 연결부에서 특정 구간의 발화점을 확인하고 효율을 높이기 위하여 적외선 열화상 기술을 사용하였다. 추가적으로 raman spectroscopy를 이용하여 정확한 값들을 분석하였다. 이를 통해 전자소자의 개발에 있어 simulation을 통한 예측과 IRT/raman spectroscopy를 통한 분석 결과의 비교를 통해 신뢰성 높은 연구 결과를 도출하였다<sup>(6)</sup>.

## 2.2 Active approach

능동형 적외선 열화상 기법은 검사 표본에 대한 온도차를 모니터링하기 위하여 수동형 기법과는 다르게 외부에너지를 인가하여 표본 내부의 온도의 변위를 적외선 열화상 기술을 이용하여 측정하는 기술이다. 능동형 기법의 외부 에너지를 인가하기 위해서는 외부 에너지원인 광원이 필요하고, 광원과 적외선 열화상 카메라 그리고 측정 프로그램과의 동기를 맞추기 위한 동기화 시스템이 필요하다. 능동형 기법의 분류는 대표적으로 pulsed, lock-in, pulsed phase 방법들이 있다<sup>(7)</sup>.

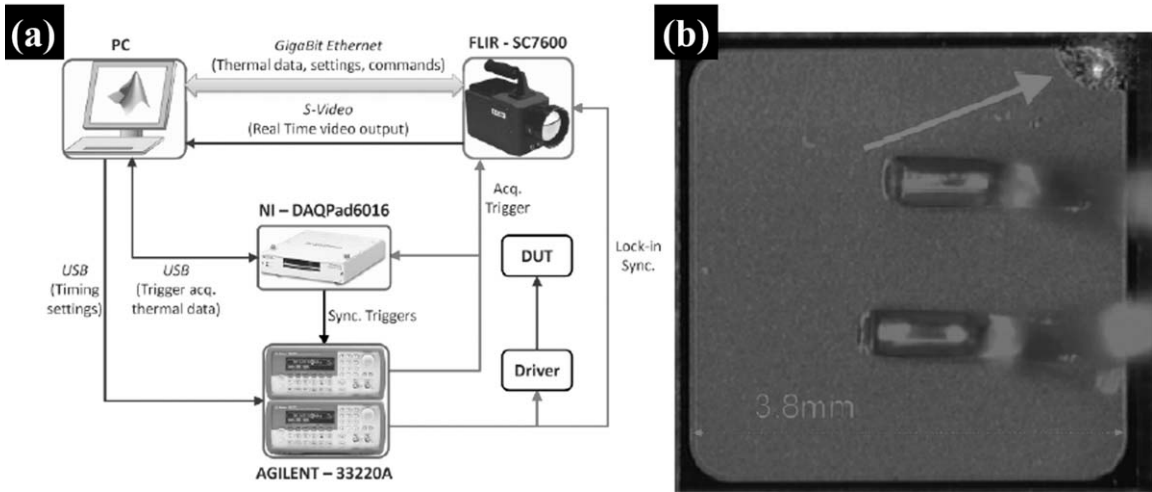


그림 4 LIT 방법을 이용한 전력 장치의 분석 (a) 측정 시스템, (b) DUT 평가<sup>(11)</sup>

### (1) Diagnosis of flip chip

플립플롭은 디지털 시스템의 1비트 정보보관 및 유지할 수 있는 순차회로의 기본요소이다. 일반적으로 플립플롭뿐만 아니라 전자소자의 공통적인 문제점 중 하나는 전자소자간의 연결문제 즉, 납땜에 대한 문제점들이 완성도를 결정하는 가장 중요한 요소이다. 이 중 플립플롭과 같은 마이크로 단위의 미세한 디바이스들의 연결문제는 해결하기 힘든 문제 중 하나이다. 이러한 문제를 극복하고 마이크로 단위의 결함들을 찾아내기 위하여 능동적 적외선 열화상 기법이 사용된다. 수동적 열화상 기법을 사용하지 않고 능동적 열화상 기법을 사용하는 이유는 배열 형태로 연결되어 있는 플립플롭과 같은 전자 부품들은 구동 시 안정적으로 연결되어 있는 부분까지 결함의 영향을 미칠 수 있기 때문에 능동적 열화상 기법을 사용한다<sup>(8)</sup>.

여기서 사용된 열화상 기법의 특이한 점은 방사율의 다양성과 발열 불균일성을 제거하기 위하여 시간 도메인을 주파수 도메인으로 변환하여 fast Fourier transform(FFT)를 사용하여 분석하고 주파수 영역에서 결함에 대한 phase-frequency curve를 이용한 능동형 열화상 기법 중 하나인 pulsed phase thermography(PPT)분석을 한 것이다<sup>(9)</sup>.

### (2) Diagnosis of power device

전력전자 개발 및 평가에 있어서 앞서 언급하였던 수동형 기법뿐만 아니라 능동형의 다양한 기법들의 활용이 가능하다. 이 중 가장 효율적으로 평가되는 방법으로는 device under test(DUT)가 가능하다는 것이다. 이를 위해 능동형 기법중 대표적인 측정법으로는 lock-in thermography (LIT)방법이 있다. LIT는 낮은 전압 전류 전자 장치 평가에 널리 사용되는 방법으로 광원의 펄스 파형을 인가하고 이에 따라 적외선 열화상 기술의 동기화를 하여 측정하는 방법이다<sup>(12)</sup>. 광원에 의해 가열된 디바이스는 heterodyne demodulation 방법에 의해 측정된다. 이러한 측정방법에 대한 개념은 그림 4와 같다<sup>(10)</sup>.

LIT방법을 통하여 전력계통의 전자 디바이스의 short-circuit(SC)상태의 power-MOSFET, 결합되지 않은 유도스위치(UIS)의 power schottky diode 등에서 55 ~ 60 us 범위의 빠른 속도로 적외선 열화상 기술을 활용한 DUT 평가가 가능하다<sup>(11)</sup>.

## 3. 맺음말

이와 같은 내용은 적외선 열화상 기술이 현재 소형 전기/전자 디바이스 분야에 적용되어 연구되고 있는 내용이다. 적외선 열화상 기술을 응용



하는 것도 중요한 부분이지만 적외선 열화상 카메라 등의 검출기에 대해 해외 기술 의존도가 매우 높기 때문에 우리나라 전문가들의 지속적인 관심 및 참여로 국내 기술을 개발하고 가격을 낮추는 연구가 요구된다. **KSNVE**

### 참 고 문 헌

- (1) Bagavathiappan, S., Lahiri, B., Saravanan, T., Philip, J. and Jayakumar, T., 2013, Infrared Thermography for Condition Monitoring-a Review, *Infrared Phys. Technol.*, Vol. 60, pp. 35~55.
- (2) Djordjevic, S., Parlevliet, D. and Jennings, P., 2014, Detectable Faults on Recently Installed Solar Modules in Western Australia, *Renewable Energy*, Vol. 67, pp. 215~221.
- (3) Tsanakas, J. and Botsaris, P., 2011, Passive and Active Thermographic Assessment as a Tool for Condition-based Performance Monitoring of Photovoltaic Modules, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 133, No. 2, p. 021012.
- (4) Huda, A. N. and Taib, S., 2013, Application of Infrared Thermography for Predictive/Preventive Maintenance of Thermal Defect in Electrical Equipment, *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 61, No. 2, pp. 220~227.
- (5) Kociniewski, T., Moussodji, J., Khatir, Z., Berkani, M., Lefebvre, S. and Azzopardi, S., 2012, New Investigation Possibilities on Forward Biased Power Devices using Cross Sections, *Electron Device Letters, IEEE*, Vol. 33, No. 4, pp. 576~578.
- (6) Wang, C., Chou, H., Cheng, S. and Chou, P., 2013, In Depth Thermal Analysis of Packaged GaN on Si Power Devices, *Power Semiconductor Devices and ICs(ISPSD)*, 2013 25th International Symposium, pp. 101~104.
- (7) Maldague, X., 2001, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*, Wiley.
- (8) Xu, Z., Shi, T., Lu, X. and Liao, G., 2014, Using Active Thermography for Defects Inspection of Flip Chip, *Microelectronics Reliability*, Vol. 54, No. 4, pp. 808~815.
- (9) Lu, X., Liao, G., Zha, Z., Xia, Q. and Shi, T., 2011, A Novel Approach for Flip Chip Solder Joint Inspection Based on Pulsed Phase Thermography, *NDT E Int.*, Vol. 44, No. 6, pp. 484~489.
- (10) Riccio, M., Breglio, G., Irace, A., Maresca, L., Romano, G. and Spirito, P., 2015, Infrared Thermography Applied to Power Electron Devices Investigation, *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, Vol. 28, No. 2, pp. 205~212.
- (11) Romano, G., Riccio, M., De Falco, G., Maresca, L., Irace, A. and Breglio, G., 2014, An Ultrafast IR Thermography System for Transient Temperature Detection on Electronic Devices, *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium(SEMI-THERM)*, 2014 30th Annual, pp. 80~84.
- (12) Breglio, G., Irace, A., Napoli, E., Riccio, M., Spirito, P., Hamada, K., Nishijima, T. and Ueta, T., 2008, Detection of Localized UIS Failure on IGBTs with the Aid of Lock-in Thermography, *Microelectronics Reliability*, Vol. 48, No. 8, pp. 1432~1434.