

우주, 군 응용을 위한 상업용 집적회로부품의 신뢰성 평가

천성일*, 한창운

Reliability Evaluation of COTS Integrated Circuits for
Military and Space Applications

Sung-Il Chan* and Chang-Woon Han

Components & Materials Physics Research Center, Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

Commercial Off the Shelf(COTS) Integrated circuits(ICs) are being increasingly considered for use in space and military applications. Therefore, There is a need to implement standard tests and requirements to ensure reliability of COTS ICs. This paper presents an overview of the ICs screen procedure and methods under the European Cooperation for Space Standardization (ECSS) and Tests Method Standard Microcircuits (MIL-STD-883). We describes the COTS ICs screen test guidelines that are mainly focused after encapsulating. In addition, COTS linear bipolar IC is investigated to evaluate the reliability requirements. The experiment results showed that COTS IC is satisfied with high reliability requirements.

초 록

고 신뢰성을 요구하는 우주, 군 등과 같은 응용분야에 집적회로 사용에 대한 필요성이 증가하고 있다. 따라서 상업용(Commercial Off The Shelf) 집적회로부품에 대한 신뢰성 보증 요구조건과 시험규격에 대한 연구가 매우 필요하다. 본 연구에서는 ECSS(European Cooperation for Space Standardization) 품질규격과 MIL-STD-883(집적회로 시험방법)을 기초하여 상업용 집적회로부품의 신뢰성 검증(evaluation)을 위한 스크린(Screening) 시험방법을 검토하였다. 그리고 상업용 부품에 대한 스크린 시험절차와 검사방법을 제안하였다. 또한, 제안한 시험절차와 방법에 맞추어 상업용 Linear Bipolar 집적회로를 평가하였다. 시험결과 상업용 Linear Bipolar 제품이 고 신뢰성 활용을 위한 신뢰성 요구조건을 모두 만족하는 것을 확인하였다.

Key Words : COTS Parts(상업용 부품), Integrated Circuit(집적회로), Reliability Evaluation(신뢰성 검증), Screening(스크린)

1. 서 론

상업용 부품의 신뢰성 향상에 따라 고 신뢰성을 요구하는 우주, 항공 및 군용 전자 시스템에

일반 집적회로부품의 사용이 높아지고 있다. 특히, 높은 신뢰성을 요구하는 특정 분야에서의 시장의 축소로 집적회로 부품 적용에 대한 필요성이 증가되고 있다[1].

† Received: August 30 2012, Accepted: November 19 2012

* Corresponding author, E-mail : chansi@keti.re.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

높은 신뢰성을 요구하는 특정 분야의 전자 시스템에 사용되는 집적회로부품의 신뢰성 조건은 일반 전자부품의 사용 환경의 기대 수준을 넘어, 아주 극한 환경에서 부품기능을 수행할 수 있어야 한다. 일례로 우주 비행선, 비행기, 배, 자동차, 군 작전을 위한 개인용 휴대물품 등과 같은 응용환경에 따라서 높은 온도, 극심한 온도변화, 기계적 충격과 진동, 바람과 먼지, 그리고 전자파 등에 노출될 수 있다. 또한 항공, 군수품에 사용되는 전자장치의 하드웨어에서 요구되는 특성은 30년 이상의 장기 사용수명을 보유하여야 한다. 특히, 전자장치의 신뢰성 성능은 하드웨어의 기능이 활성화 되지 않은 상태에서 장기 보관기간 보관되어야 한다[2]. 그러나 일반 집적회로부품은 특정 응용분야 사용자를 고려한 극한 환경에서의 신뢰성 보증과 부품의 장기 사용수명 등에 대해 보증하지 않는다.

상업용 집적회로부품을 높은 신뢰성 시스템 사용하기 위한 연구는 패키지 내구 신뢰성 중심으로 신뢰성이 높은 밀봉 패키지(Hermetic Package)를 대신할 수 있는 플라스틱 패키지(Plastic Package) 부품에 대한 연구가 많이 진행되었다.

Lloyd Condra et al. 은 밀봉 집적회로와 플라스틱 집적회로에 대한 패키지 내구성 실험을 진행하였다. 실험은 DIP(Dual In-line Package)를 대상으로 온도 사이클(Temperature Cycling)과 온도, 습도, 전압(Temperature Humidity Bias) 실험을 실시하였다. 실험결과 플라스틱 패키지의 고장률이 기존 20년 이상의 수명이 추정되는 밀봉 패키지와 동등한 것으로 나타났다[3].

K. Musiejovsky et al. 은 PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier)와 CLCC (Ceramic Leaded Chip Carrier) 패키지의 열 성능 검토하여 플라스틱 봉지재 부품이 세라믹 패키지 부품 보다 뛰어난 것을 확인할 수 있었다[4]. 또한 James T. Hanlon 은 상업용 플라스틱 패키지의 성능과 신뢰성이 기존 군용부품과 비교하여 떨어지지 않는다고 보고하였다[5].

지금까지의 많은 연구는 우주, 군 응용을 위한 상업용 집적회로부품의 신뢰성 특성에 대한 연구가 진행되었다. 그러나 일반 집적회로부품을 우주, 군 등과 같이 높은 신뢰성을 요구하는 응용분야의 부품으로 활용하기 위한 부품의 신뢰성 검증절차와 방법에 관한 연구는 많이 활성화 되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 ECSS 규격과 MIL-STD-883을 기초하여 상업용 집적회로부품 신뢰성 검증을 위한 스크린 시험절차와 방법에 대해 제안하였다.

II. 본 론

2.1 신뢰성 검증을 위한 스크린(Screen) 시험

일반 부품과 고 신뢰성 부품의 중요한 성능의 차이는 가혹한 환경에서 부품의 고유기능과 신뢰성을 만족하는 것이다. 항공, 군에서 사용되는 전자장치 하드웨어에 사용되는 집적회로는 30년 이상의 동작수명을 보증하여야 한다.

상업용 반도체 회사의 집적회로 품질인증 신뢰성실험은 미국의 국방표준규격과 공동전자기기기술위원회(Joint Electron for Devices Engineering Council)의 신뢰성 시험규격을 사용하고 있다.

집적회로부품의 신뢰성시험은 수명시험과 환경시험으로 구분한다. 수명시험은 최대 절대정격을 인가하고, 125℃ 온도조건에서 1,000 시간 시험한다. 환경시험으로는 패키지 내구성을 중심으로 THB (Temperature, Humidity, Bias), 온도 싸이클 시험, 그리고 증기압력(Press Cooker Teat) 시험 등이 수행된다[6][7].

우주, 군용 시스템 등과 같은 고 신뢰성 전자장비에 사용되는 집적회로 부품에 대한 시험은 미국 국방표준규격(Military Specification and Standard)의

Table 1. Screening Procedure of Military and Space Application

SCREEN	우주용 수준		군용 수준	
	Mil method	Req.	Mil method	Req.
3.1.1 Wafer lot acceptance	5007	All lots		
3.1.2 Nondestructive bond pull	2003	100%		
3.1.3 Internal visual	2010, A	100%	2010, B	100%
3.1.4 Temperature cycling	1010, C	100%	1010, C	100%
3.1.5 Constant acceleration	2001, E	100%	2001, E	100%
3.1.6 Visual inspection		100%		100%
3.1.7 Particle impact noise detection(PIND)	2020, A	100%		
3.1.8 Serialization		100%		
3.1.9 Pre burn-in electrical parameters	Device specification	100%	Device specification	100%
3.1.10 Burn-in teat	1015 240h@125°C	100%	1015 160h@125°C	100%
3.1.11 Internal (post burn-in) electrical parameters	Device specification	100%	Device specification	100%
3.1.12 Reverse bias burn-in	1015, A, C 72h@150°C	100%		
3.1.13 Internal (post burn-in) electrical parameters	Device specification	100%	Device specification	100%
3.1.14 Percent defective allowable (PDA) calculation	5%, 3%@25°C	All lots	5%	All lots
3.1.15 Final electrical tests a. Static tests b. Dynamic/Functional test c. Switching tests	Device specification	100%	Device specification	100%
3.1.16 Seal a. Fine leak b. Gross leak	1014	100%		
3.1.17 Radiographic	2012	100%		
3.1.18 Qualification or Quality conformation inspection test sample selection				
3.1.19 External visual	2009		2009	
3.1.1 Radiation latch-up	1020	100%	1020	100%

MIL-STD-883 기준을 적용하고 있다. 특별하게, 집적회로 부품의 우주용 시스템 적용과 군 응용에 대한 성능과 신뢰성 검증은 MIL-STD-883 Method 5004. 스크린 절차에서 Table 1과 같이 기술하고 있다[8]. Table 1 내 좌측박스의 번호는 규격에서의 스크린 절차이다.

유럽에서의 우주용 응용부품 개발 및 기술 표준화는 ECSS에 의해 수행된다. 전기, 전자, 전기기계식 부품(Electrical, Electronic, and Electro mechanical)에 대한 신뢰성 검증시험은 시험 대상에 따라 전수 또는 표본 시험으로 구분하고 있다. 그리고 시험목적에 따라 스크린(Screening) 시험과 인증시험(Qualification Test)을 실시한다. 여기에서, 스크린 시험목적은 상업용 우수한 전자부품을 선별하여 신뢰성을 검증하는 시험이다. 그리고 인증시험은 스크린시험 요구조건을 모두 만족하는 부품에 한해 자격이 주어지는 시험으로 고 신뢰성 부품으로 인증하는 시험이다. 스크린 시험은 미국항공우주국 우주비행 전자부품 선정에서도 적용되고 있으며 집적회로부품에 대한 스크린 요구조건은 Table 2와 같다[9].

스크린 시험은 부품 신뢰성 등급에 따라 1, 2, 3 등급으로 구분하고 있다. 신뢰성 1 등급의 부품

은 군(Military) 또는 DSCC(Defense Supply Center Columbus) 규격의 시험과 최고 수준의 부품 제조관리를 거친 부품에 한하여 부여한다. SCD(Source Control Drawing) 요구조건 시험은 제조자가 실시하는 시험으로 사용자가 Wafer Lot Acceptance, PIND(Particle Impact Noise Detection) 검사에 대해 별도로 반복해서 실시하지 않는다.

상업용 부품은 신뢰성 2 등급으로 분류된다. 상업용 부품은 신뢰성 1 등급 시험절차에 의해 승인(Approved)할 수 없다. 신뢰성 3 등급 부품은 신뢰성 관리에 대해 보증할 수 없는 부품이다.

ECSS 품질규격과 MIL-STD-883 등에서의 집적회로부품 스크린시험은 집적회로 웨이퍼(Wafer) 단계에서의 결함검출과 패키징 후의 전기적 특성 측정 그리고 신뢰성시험으로 구성되어 있다.

집적회로 조립 전 웨이퍼 수준에서의 검사와 시험은 부품공급자에 의해 실시되고 모니터링 되어야 한다. 그리고 부품 사용자가 별도로 실시하기에는 전문지식과 검사시설 등이 필요하다. 패키징 이후의 전기적 특성측정과 신뢰성시험은 부품 사용에 대한 승인을 위해 필요한 항목이다. 따라서 상업용 집적회로부품을 선별하고 신뢰성검증을 위한 스크린 시험은 완제품 중심으로 설계하였다. 상업용 집적회로부품에 대한 스크린 시험 규격과 절차는 Table 3과 같다.

Table 2. Screening Procedure and Test Method for Space Application

Inspection / Test	MIL-STD-883		Level 1		Level 2
	Methods	Condition	Class Q or B	SCD	Hi-Rel. / Commercial
1. Wafer lot acceptance	5007			x	x
2. Nondestructive bond pull	2003			x	
3. Internal visual	2010	A or B	x	x	x
4. Temperature cycling	1010	C		x	x
5. Constant acceleration	2001	E Y1 Orientation Only		x	x
6. Particle impact noise detection(PIND)	2020	A	x	x	x
7. Radiographic	2012	Two views		x	
8. Serialization				x	
9. Initial electrical measurements @ 25°C		Device specification	x Read / Record	x Read / Record	x Read / Record
10. Burn-in	1015	A, C, or D Duration(h)	x 48/160	x 72/240	x 160
11. Final electrical measurement @ 25°C, min. and max operating temp.		Device specification	x Read / Record	x Read / Record	x Read / Record
12. Calculate Delta		Device specification	x	x	x
13. Calculate PDA(Percent defective allowable)		PDA	5%	5%	10%
14. Hermetic Seal a. Fine leak b. Gross leak	1014	A or B	x x	x x	x x
15. External visual	2009	3 to 10 x	x	x	x

Table 3. Screening Procedure and Test Method for COTS Integrated Circuits

시험	시험규격
1. 초기 특성측정	• 25°C 표준 환경조건
2. 외관 검사	• MIL-STD-883 Method 2009 (External Visual)
3. 온도 싸이클 시험	• MIL-STD-883 Method 1010 (Temperature Cycling - Condition C)
4. 기계적 충격 또는 일정 가속	• MIL-STD-883 Method 2002 (Mechanical Shock - Condition B) • MIL-STD-883 Method 2001 (Constant Acceleration - Condition E)
5. 번인	• MIL-STD-883 Method 1015 (Burn-In Test - Condition B)
6. 번인 후 특성 측정	• 25°C 표준 환경조건
7. 정상상태 수명시험	• MIL-STD-883 Method 1005 (Steady State)
8. 최종 특성측정	• 25°C 표준 환경조건

Table 4. Device Function and Physical Characteristics

기능	패키지 형태	패키지 재료	동작온도 범위
MOSFET Driver	8 DIP	Plastic	-40°C to 125°C
PWM Controller	16 DIP	Plastic	-55°C to 125°C
Differential Comparators	8 DIP	Plastic	-55°C to 125°C

2.2 스크린 시험과 결과

2.2.1 시험 준비

상업용 집적회로부품을 선별하고 신뢰성 검증 을 위한 스크린 시험시료는 일반 부품 대리점을 통해 Table 4와 같이 TI 사의 Linear Bipolar 집 적회로를 구입하였다. Bipolar 집적회로는 아날로 그(Analogue) 반도체 제조공정을 이용한 집적회 로로 항공, 우주 부품에 많이 사용된다.

MOSFET Driver 집적회로의 경우 8DIP(Dual In-line Package) 패키지 형태의 부품으로 경선 (Junction) 최대 동작온도는 150, 정상동작 온도 범위는 -40℃에서 125℃이다. 부품의 칩 접착은 전도성 에폭시(Conductive Epoxy)가 사용되었다. 와이어 본딩 패드 접합은 알루미늄 패드 위에 열 압착(Thermal Compression) 또는 초음파 (Ultrasonic) 로 본딩 되어있다.

시험 항목별 시료는 Table 5와 같이 초기 특성 측정과 외관검사를 위해 랜덤하게 선정하였다. 시험 전 초기 특성측정과 외관검사는 20개를 실시하 였다. 검사 후 20개의 시료 중 10개 시료를 선정하 여 환경시험, 번인시험, 그리고 수명시험을 연속으 로 실시하였다. 시험시료 수의 결정은 우주용 집적 회로 스크린 요구조건에 맞추어 결정하였다.[9]

온도 싸이클 시험은 Votsch사의 열 충격시험기 가 사용되었으며 충격시험은 Lansmot 사의 M-23 장비를 사용 하였다. 그리고 번인과 수명시 험은 ACS 사의 항온항습 장비를 이용하였다.

스크린 시험 전과 시험 후 전기적 특성에 대한 측정에는 TERADANE 사의 UltraFLEX 장비를 사 용하였다. UltraFLEX 전기적 특성장비는 아날로 그, 디지털, 복합신호(Mixed Signal) 집적회로를 측정할 수 있는 자동 정밀측정 장비이다. Fig. 1 은 전기적 특성측정을 위한 측정준비 사진이다.

2.2.2 시험결과 및 검토

외관 검사는 스크린 시험 후 발생할 수 있는 패 키지 손상에 대한 검사이다. 스크린 시험 전과 환경시험, 번인 그리고 수명시험 후 실체 현미경

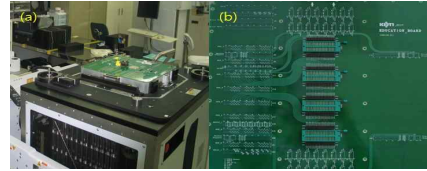


Fig. 1. (a) Electrical Test Equipment and (b) Test Socket in Board for Electrical Measurement

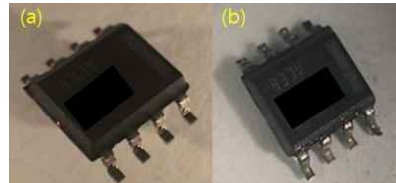


Fig. 2. Optical Microscopy Image of Package under Screening : (a) Before and (b) After Screening Tests

을 이용하여 10× 배율로 검사하였다. 검사결과 Fig. 2와 같이 시험 후 패키지 깨짐 등과 같은 손상은 확인할 수 없었다.

온도 싸이클 시험과 기계적 충격시험은 플라스 틱 패키지 집적회로부품의 신뢰성 시험으로 매 우 중요한 환경요소이다. 온도 싸이클 시험은 -65℃와 150℃ 조건에서 10회 반복하였다. 이 시험은 열팽창 계수 차에 의한 인장, 전단 스트레 스에 의한 EMC(Epoxy Molding Compound), Lead Frame, 칩 등과 같은 부위에서의 크랙 (Crack), 와이어 본딩 들뜸, 회로 연결금속의 변 형 등이 발생할 수 있다. 시험조건은 고온과 저 온, 저온과 고온의 온도 변화가 1 분 내에 이루어져야 한다. 그리고 고온, 저온 각 챔버 내에서 의 시험시료의 최소 유지시간은 10분이다. 시험 시료가 각 챔버의 온도까지 도달 시간은 15분 이 내이어야 한다.

기계적 충격시험은 부품이 전자 시스템에 장착 후 갑작스러운 충격 또는 이동 또는 사용 동작 중 발생하는 돌발적인 변화에 대한 모의시험이 다. 충격은 동작특성을 방해하거나 유사 손상을 발생할 수 있다. 시험은 1,500g 수준에서 0.5 ms

Table 5. Test Sample and Acceptance Criteria for Screening

구분	특성측정 및 외관검사	환경시험	번인 / 수명시험
시험 시료 수(개)	20	10	10
합격/불합격	0/1	0/1	0/1

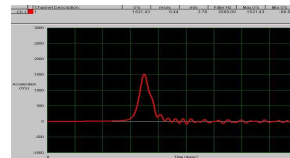


Fig. 3. Test Profile for Mechanical Shock

진행하며 총 5회 기계적 충격을 인가하였다. Fig. 3은 충격시험에 대한 프로파일이다.

변인시험은 집적회로부품의 성능 또는 신뢰성이 취약한 부품을 검출하기 위한 시험이다. 이러한 잠재결함은 부적절한 제조과정에 의해 발생되며 시간의 경과 또는 스트레스에 의해 발생하는 고장이다. 만약 변인시험이 없는 경우 사용 중 초기고장으로 발생할 수 있다.

변인시험의 조건은 집적회로 부품의 절대정격 이상 또는 이와 동등한 스크린 조건을 인가하여야 한다. 플라스틱 집적회로 정선온도는 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서 T_j 는 안정상태에서의 정선온도를 나타내며, T_a 는 시험 주변온도를 표현한다. 그리고 순방향 전압과 전류의 곱 ($I_f \cdot V_f$)는 시험 시료에 인가되는 전기적 에너지를 의미한다. 따라서 패키지 표면과 정선에서의 온도는 정상 환경에서 주변보다 매우 높다. 변인시험과 정상수명시험에서의 정선온도는 군에서 활용하는 경우 200℃, 우주용 부품의 경우 175℃를 초과할 수 없다[8]. 집적회로에 인가되는 변인시간과 스트레스는 고장모드를 검출할 수 있는 조건으로 결정되어야 한다.

$$T_j = R_{\theta} \times (I_f \cdot V_f) + T_a \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

상업용 집적회로부품 스크린 시험에서의 변인시험은 정상상태(steady-state) 조건에서 순방향 최대전압이 인가되었다. 챔버의 온도는 125℃로 설정되었으며 시간은 240시간 진행되었다. 집적회로 중 Linear Bipolar, MOS, CMOS 제품의 정상상태 변인시험 환경은 125℃ 설정을 명시하고 있다[9]. 변인시험 후 측정은 전압을 분리한 후 25℃ 조건에서 96 시간 이내에 전기적 특성이 측정되었다. 시험전압을 분리하기 전에 외부 온도는 전원이 안정된 상태에서 10℃ 이내로 서서히 내려 시험 부품에 영향이 없도록 하였다.

고 신뢰성 시스템 적용을 위한 부품시험 보드와 시험 소켓은 시험 전에 부품의 기능시험에 대한 검증이 되어야 한다.

정상상태 수명시험은 품질에 대한 검증 또는 장기 사용기간 동안 규정된 조건에서 부품의 신뢰성을 검증하기 위한 시험이다. 집적회로부품에 대한 신뢰성 수준을 확인하기 위해 전기적 부하 그리고 전압 등 부품의 최대동작 조건에서 시험을 진행하였다. 챔버온도는 125℃로 설정 하였으며, 1,000시간 시험하였다.

시험회로는 개별 부품특성의 일반 변화를 보정할 필요는 없다. 그러나 시험 중 발생하는 고장

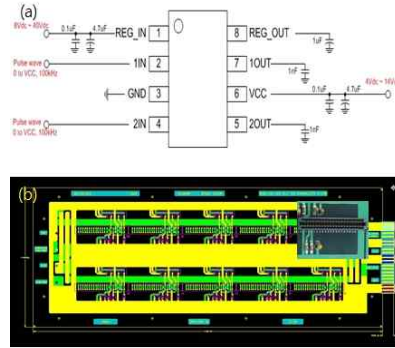


Fig. 4. (a) Circuit Diagram for Steady-State Life Test and (b) CAD drawing of Test Board



Fig. 5. (a) Fixed Jig for Life Test Board and (b) Power Supply

또는 비정상 부품이 시험 중 다른 부품에 부정적 영향을 주지 말아야 한다. 수명시험 회로는 Fig. 4와 같이 설계하였다. 시험부품의 출력은 접지(Ground)로 연결하였다.

수명시험은 고온 챔버 내에서 장시간 시험되어야 한다. 그러므로 안정적 수명시험을 위해 Fig. 5와 같이 별도의 시험보드 고정 지그를 제작하여 안정적 전원이 인가될 수 있도록 하였다.

집적회로부품의 전기적 특성측정은 시험부품의 규격을 기준으로 실시하였다. 전기적 특성측정 항목은 DC 전압 및 전류 그리고 출력 전압 등을 측정하였다. 전기적 특성측정은 스크린 시험 전, 후 측정되었다. 시험 후 전기적 특성변화에 대한 검토결과 시험부품의 규격에 모두 만족하였다.

III. 결 론

상업용 집적회로부품을 선별하고 신뢰성검증을 위한 스크린 시험을 설계하였다. 그리고 플라스틱 패키지 형태의 Linear Bipolar 집적회로 3종에 대하여 스크린 시험을 실시하였다.

우주, 항공, 군 등과 같은 특수 환경에서의 고

신뢰성 전자 시스템 응용을 위한 상업용 집적회로 부품의 신뢰성 검증을 위해서는 제조공정에 대한 특별 관리와 웨이퍼 수준에서의 검사와 시험 등이 필요하다.

현재 상업용 집적회로 신뢰성검증을 위한 완제품 중심의 스크린 시험절차와 방법은 제안 단계이다. 향후 특수 환경에서의 전자 시스템 적용을 위해 응용 환경에서의 신뢰성 검증에 대한 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 우주 기초핵심기술개발사업(2011-0029894)

References

- 1) Vettraino, L.G., Risbud, S.H., "Current Trends in Military Microelectronic Component Packaging," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 22, 1999, pp.270-281.
- 2) Ja Min Koo, "A Study on Against Method of Project Management Step for Military Equipment DMSMS," The Graduate School of Kyunghee University, 2007.
- 3) Condra, L., O'Rear, S., Freedman, T., Flancia, L., Pecht, M., Barker, D., "Comparison of Plastic and Hermetic Microcircuits under Temperature Cycling and Temperature Humidity Bias," IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, Vol. 15, 1992, pp.640-650.
- 4) Musiejovsky, L., Nicolics, J., Hauser, H., Brasseur, G., "Thermal Performance of Plastic-encapsulated and Hermetically Sealed Components for Automotive Applications," IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vol. 2, 1998, pp.1185-1188.
- 5) James T.H., "The Future of Components for High Reliability Military and Space Applications," Sandia National Laboratory, Albuquerque, 1996.
- 6) INTEL, "Intel Quality System Handbook," 2009. from <http://www.intel.com/design/quality>
- 7) Texas Instruments, "Texas Instruments Quality and Reliability Handbook," 2008. from <http://focus.ti.com/quality>
- 8) MIL-STD-883G, "Test Method Standard Microcircuits," Department of Defense, 2006.
- 9) EEE-INST-002, "Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating," National Aeronautics and Space Administration, 2003.