Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 20, No. 5, p. 415, May 2007.

논 문 20-5-6

세라믹 패키지를 이용한 표면실장형 다이오드의 제작과 특성평가

Manufacture of Surface Mounted Device Type Fast Recovery Diode with Ceramic Package

전명표[1,a], 조상혁[1], 한익현[1], 조정호[1], 김병익[1], 유인기[2]
(Myoung-Pyo Chun[1,a], Sang-Hyeok Cho[1], Ik-Hyun Han[1], Jeong-Ho Cho[1], Byung-Ik Kim[1], and In-Ki Yu[2])

Abstract

Generally, a diode package consists of the synthetic resin that has good durability but low thermal conductivity. The surface mounted type fast recovery diode was fabricated by using ceramic package. Its main manufacture processes are composed of soldering, sillicon coating and side termination. And it has various advantages that diode is small, easy manufacture and fast cooling. The electric characteristics of the diode such as reverse recovery time, breakdown voltage, forward voltage, and leakage current were 5.28 ns, 1322 V, 1.08 V, 0.45 μA, respectively.

Key Words : Fast recovery diode, Surface mounted device, Ceramic package

1. 서 론

P-N 접합 정류기는 P-N 접합을 통해 한 방향으로 전류를 흐르게 하는 특성을 이용한 다이오드로써 신호검파나 전기정류의 목적으로 사용하며 동작특성에 따라 여러 가지로 구분되며 용도에 따라 제작 공정과 구조가 다양하다[1]. 교류전압의 정류로서 사용되는 경우 역방향 회복시간(reverse recovery time)은 p-n 접합 정류기의 고유성질이자 단점으로 이를 최소화 하려는 연구가 많이 이루어지고 있다. Fast recovery rectifier는 역방향 회복시간이 약 0.1 - 1 μs 이며 TV나 비교적 낮은 동작주파수의 SMPS나 모니터, 교류 전압 전원장치, 인버터, 컨버터, 초음파장치, 단속기, 저주파 간섭기등에 응용되고 있으며, 최근 PC 및 통신기기의 발달과 함께 전압 전자기기의 스위칭 주파수는 MHz영역으로 확장되고 있어 이러한 높은 주파수영역에서 사용되기 위해서는 낮은 순방향 전압강하와 빠른 역회복 특성을 갖는 정류기가 필요하게 된다[2].

이러한 점에서 쇼트키 배리어 다이오드는 낮은 순방향 전압강하와 고속 스위칭의 장점을 가지고 있으나, 역방향 항복전압이 매우 낮고 역방향 누설전류가 큰 것이 단점으로 교류전압의 정류로 사용하기에 부적합하므로 쇼트키 배리어 다이오드의 성능 개선에 많은 연구가 이루어지고 있다[3].

현재 사용되는 형태에 따른 정류기의 종류로 리드선을 갖는 리드 타입, 핀 타입 및 표면실장형이 있으며 최근 전자기기의 초소형화, 경량화에 맞추어 다이오드도 점점 더 소형화되고 있으며, 따라서 초소형의 칩을 이용한 다이오드의 소형화를 실현하기 위해 회로도를 단순화하고, 어레이화를 실시하여, 표면실장형의 제품을 통한 도선의 길이를 최소화함으로써 전기저항을 낮추고 특성을 향상시키려는 노력을 하고 있다[2].

본 연구에서는 역회복시간(t_{rr}) 50 ns이하, 항복전압 (V_R)600 V이상, 순방향 전압(V_F, I_F=1.0 A)이 1.3 V이하인 빠른 역방향 회복 다이오드의 특성을 실현하기 위한 ceramic package를 이용하여 제작된 초소형의 표면실장형(SMD) 다이오드를 제작하였고 역회복 시간, 누설전류, 항복전압, 순방향 전압등의 전기적 특성과 인장력 테스트, 서지 전류 테스트, 열충격 테스트, 납내열성 테스트등의 다이오드 제작의 신뢰성 테스트를 실시, 분석하였다.

1. 요업기술원 (KICET) 첨단소재 부품팀
(서울시 금천구 가산동 233-5)
2. 코브 테크놀로지
a. Corresponding Author : myoungpyo@kicet.re.kr
접수일자 : 2007. 2. 28
1차 심사 : 2007. 3. 13
2차 심사 : 2007. 4. 11
심사완료 : 2007. 4. 19

2. 실 험

2.1 소재

세라믹 패키지를 이용한 표면실장형 다이오드의 제작을 하기 위해 필요한 소재로 표면에 Ni전극이 형성된 Al_2O_3 세라믹 기판, Pb-Sn-Ag 솔더 프리폼(solder preform), p^+-n-n^+ 접합의 다이오드 칩, 코팅 용액 및 상온 전극 페이스트를 사용하였다. 다이오드의 외부를 이루고 있는 Al_2O_3 세라믹 기판은 길이 3.2 mm, 너비 2.0 mm, 두께 0.4 mm크기의 기판으로 내부에 니켈 전극이 입혀져 있으며 중앙의 원형전극과 한쪽 끝이 연결된 부분이 안쪽으로 솔더링시에 두 세라믹 기판이 마주보도록 배치하여 제작한다. 다이오드 칩은 p^+-n-n^+ 접합 다이오드 칩으로 소자 전체의 두께는 220 μm이고 p+의 영역이 40 μm, n+영역이 60 μm이며 소자 전체의 면적은 $1.60x10^{-2}$ cm인 정방형 칩을 사용하였다.

솔더 프리폼은 Pb-Sn-Ag의 비율이 각각 95 : 2.5 : 2.5이고 용융점은 300~350 ℃이며 함유된 Ag는 Pb의 전기 전도도를 높이는데 기여한다[5]. 제작된 다이오드의 내부를 채우는 코팅제는 다이오드의 발열에 충분히 견딜 수 있는 반도체용 실리콘계의 불투명한 백색의 코팅 용제로 약 80 ℃에서 경화되는 제품을 선택하였다.

다이오드의 양 끝에 부착할 도전성 외부전극 페이스트는 Ag가 함유된 에폭시계 외부전극으로 약 150 ℃에서 경화하는 것을 사용하였다.

2.2 제작공정

제작을 하기 위한 소재를 아세톤으로 깨끗이 세척하여 이물질을 제거한 후 다이오드 제작용 지그(jig)의 고정판에 세라믹 기판과 다이오드 칩, 그리고 그 사이에 솔더를 위치시키고 위를 덮개로 덮어 고정시켜 움직이지 않도록 하였다.

솔더링을 하기 위해 컨베이어 벨트의 터널로에 온도 구간을 350 ℃, 400 ℃, 450 ℃, 400 ℃, 350 ℃으로 설정하여 지그를 터널로 내부에 넣고 1시간동안 가동하여 솔더를 융착시켰다. 솔더의 온도는 외부온도에 비해 천천히 온도 상승이 이루어지며 450 ℃구간에서 솔더가 약 300 ℃의 온도로 용융되어 솔더링이 이루어진다. 솔더링 과정중에 솔더가 산화되어 찌꺼기가 발생하는 등의 솔더링 결과에 나쁜 영향을 주지 않도록 N_2분위기를 이용하였으며 450 ℃구간에서는 N_2, H_2 85:15비율의 혼합가스를 투입하여 잔류하고 있는 O_2를 수증기로 변화시켜 제거하였다. 터널로를 빠져나와 솔더링이 끝나면 천천히 냉각시킨 후 솔더링이 끝난 완성된 소자를 아세톤으로 세척한다.

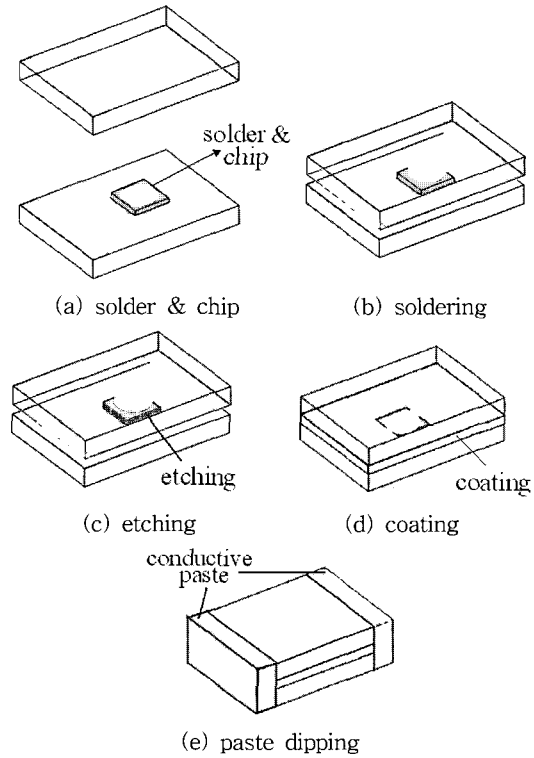


그림 1. 제조 과정.
Fig. 1. Manufacture process.

소자 측면의 표면누설전류를 막기 위해 1:5비율로 혼합된 HF - HNO_3 용액에 에칭한다. 용액온도 21 ℃에서, 210초간 에칭하며 온도가 높아지면 에칭시간을 줄이며 온도 조건에 따라 에칭시간을 조절한다.

에칭은 일반적인 정방형 칩인 경우 실시하며 GPP (glass pesivated pellette)칩의 경우 측면에 산화막을 입혀 누설전류를 방지하도록 설계되어있어 에칭 과정을 하지 않는다. 이번 실험에서 사용한 칩은 GPP칩으로 에칭과정을 실시하지 않았다.

에칭 후 증류수와 아세톤으로 세척, 건조한 후 소자의 습기로부터 내부를 차단하여 충격을 완화하기 위한 코팅 용액을 소자 내부에 주입한다. 내부를 완전히 충진시킨 후 코팅액이 주입된 소자를 65 ℃에서 30분, 120 ℃에서 1시간 건조, 경화한다.

코팅액을 주입시킨 소자를 아세톤으로 세척한 후 단자전극 페이스트를 소자의 양 끝에 도포하여 마찬가지로 건조, 경화한다. 150 ℃에서 25분, 200 ℃에서 30분동안 경화시킨 후 냉각시켜 완성한다.

그림 1은 제작 과정을 그림으로 표시한 것이다.

표 1. 다이오드의 전기적 특성.
Table 1. Electric property of fast diode.

측정 항목	표기
인가가능한 최고 정류 전압 (maximum DC blocking voltage)	V_{DC}
1 A 에서의 순방향 순간 최고 전압 (maximum instaneous forward voltage as 1.0 A)	V_F
정격 정류 전압에서의 최고 역전류 (maximum DC reverse current as rated DC blocking voltage)	I_R
통상 접합 용량 (typical junction capacitance)	C_J
최대 역방향 회복 시간 (maximum reverse recovery time)	T_{RR}
허용 보관 온도 (storage temperature range)	T_{stg}

2.3 측정

세라믹 패키지를 이용한 다이오드의 전기적 특성을 측정하였다. 제작된 다이오드의 기준이 되는 FR105 다이오드의 전기적 특성의 기준치에 비교하여 분석하였다. 표 1은 측정 항목을 나열한 것이다.

다이오드의 세라믹 패키지의 특성을 파악하기 위한 신뢰성 테스트를 실시하였다. 납 내열성 테스트, 인장력 테스트, 온도 사이클링 테스트, 반복 서지 전류 테스트, 표면온도상승 측정 테스트의 5가지를 실시하였으며 일부는 다른 다이오드 제품과의 특성을 비교 분석하였다.

납 내열성 테스트는 다이오드가 가열되었을 때, 성능의 이상을 점검하는 테스트로서 270 ℃의 납이 녹아있는 수조에 다이오드를 10초간 담가두어 전기적 특성이 변하는 가를 테스트한 것이다. 온도가 높이 올라가면 내부의 솔더가 녹아 성능에 영향을 주게 되므로 솔더의 용융점이 높아야하며 용융점 아래에서는 다이오드의 성능이 제대로 발휘되어야 하며, 테스트 전후의 측정 항목으로서 V_F와 I_R을 측정하여 납조에 담그기 전과 후의 결과를 비교한다.

인장력 테스트는 다이오드의 양 끝에 도포한 상온전극 페이스트의 벗겨짐 정도를 검사하는 테스트로서 양 끝에 와이어를 부착하여 잡아당기는 인장력으로 상온전극이 세라믹에 잘 붙어있는 지를 실험한다. 와이어를 전극에 부착하기 위해 상온전극의 한쪽에 금속을 도금하여 와이어를 납땜한 후 인장기기를 이용하여 양쪽을 1 kg중의 힘으로 10초간 잡아당겨 상온 전극이 떨어져나가지 않아야 한다.

온도 사이클링 테스트는 다이오드에 고온과 저온의 급격한 변화 후의 다이오드의 정상 작동을 테스트하는 실험이다. 테스트 전후의 측정 항목으로 V_{DC}, V_F, I_R의 세 가지를 측정하며, 온도 변화는 저온 -40 ℃에서 20분간, 상온에서 5분간, 고온 120 ℃에서 30분간, 상온에서 5분간을 1시간 한 주기로 10회의 반복을 실행한 후 상온에 2시간 방치한 후 테스트 항목을 측정하였다.

반복 서지 전류 테스트에서는 테스트용 회로를 구성한 후 다이오드에 8.3 ms의 단일 sine파, 30 A 전류의 서지를 10회 흘려준 후 서지에 의한 다이오드 성능의 이상을 점검하는 테스트로서 세라믹 패키지를 이용한 표면실장형(SMD) 다이오드 이외에 일반 SMD타입 다이오드, lead타입 다이오드를 측정 비교하였다.

표면온도상승 측정 테스트는 내부의 접합에서 발생하는 열이 외부의 케이스를 통해 발산되는 정도를 비교해본 테스트이다. 측정시간은 10분이며 내부의 접합에서는 매우 큰 열이 발생하지만 열전도도가 낮은 케이스의 경우 열 발생이 적으므로 케이스의 온도는 크게 올라가지 않고 내부의 열이 갇히게 되어 다이오드에 무리를 줄 수 있으므로 케이스를 얇게 처리한다. 하지만 너무 높이 올라갈 경우 회로 주변이 온도의 영향을 받게 되므로 적절한 수준의 온도유지가 요구된다.

3. 결과 및 고찰

이번 연구에서 제작된 세라믹 패키지를 이용한 표면실장형 다이오드의 크기는 SMD타입 다이오드와 리드선이 달린 원통형 다이오드의 기존 제품중에서 1종을 뽑아 비교하였다. 표 2에서 보는 바와 같이, 일반 표면실장형 다이오드(on-semi사의 GS1M)와 Lead 타입 다이오드에 비해 30 %정도 작은 크기를 가지고 있으며 높이가 낮아 표면실장형에 알맞은 구조를 가지고 있다.

표 2. 크기 비교.
Table 2. Compare the diode with other.

Size	Ceramic Package	Normal SMD	Lead Type
length(mm)	3.2	4.4	4.9
width(mm)	2.0	2.5	2.7
height(mm)	1.1	2.3	2.7

표 3. FR105 다이오드의 특성 기준값.
Table 3. Electric property of FR105 diode.

Electric property	Qualify
maximum DC blocking voltage - V_{DC}	above 600 V
maximum instaneous forward voltage as 1.0 A - V_F	below 1.3 V
maximum DC reverse current as rated DC blocking voltage - I_R	below 5 μA
typical junction capacitance - C_J	below 15 pF
maximum reverse recovery time - T_{RR}	below 250 ns

표 3은 FR105 다이오드의 전기적 특성을 표기한 것이며 이번 실험에서 제작한 다이오드는 이 특성에 맞추어 제작된 것이다.

표 4은 제작한 다이오드의 V_{DC}와 V_F, I_R, CJ의 측정 결과를 보여주고 있다. V_{DC}는 역방향 바이어스시의 항복전압을 나타내며 FR105 다이오드의 기준치인 600 V이상의 2배가 넘는 결과를 보여주고 있다.

V_F는 순방향 전류 1 A에서의 V_F값을 측정 한 것으로 FR105의 기준치는 1.3 V이하이며 측정된 평균 값은 그 이하인 1.08 V를 나타내고 있다.

I_R은 역방향 바이어스시의 정격 전압에서 나타나는 역전류를 표시한다. FR105 다이오드의 역방향 바이어스시의 기준 항복 전압값 600 V에서 흐르는 누설전류 값은 5 μA이하이어야 하며, 결과에서는 평균 값이 0.45 μA로 측정되었다. 역방향 항복전압의 결과는 매우 높은 값을 가지고 있으나 순방향 전압의 I-V곡선에서는 보통의 결과를 얻었다. V_F는 도핑 농도를 낮춤으로서 낮은 전압강하와 해결할 수 있으나 역방향 회복 시간과 항복전압의 특성이 낮아지므로 적절한 도핑 농도의 선택이 필요하다[4].

C_J는 역방향 바이어스의 전압 4 V를 인가하였을 때 다이오드의 capacitance를 측정한 값이며 역방향 바이어스시에는 공핍층이 넓어지기 때문에 junction capacitance는 일반적으로 감소하며 capacitance가 낮을수록 역방향 회복시간이 짧아지게 되어 고주파수의 특성에 영향을 준다. 다이오드의 측정 결과 값은 7.5 pF로 FR105 다이오드의 C_J 기준치 15 pF보다 낮아 역방향 바이어스시 효과적으로 전류를 차단할 수 있음을 확인하였다.

표 4. 세라믹 패키지 다이오드의 V_F, V_{DC}, I_R, C_J, T_{RR}의 결과.
Table 4. V_F, V_{DC}, I_R, C_J and T_{RR} of ceramic package diode.

V_{DC}	V_F	I_R	C_J	T_{RR}
1250 V	1.090 V	0.31 μA	7.364 pF	5.84 ns
1274 V	1.064 V	0.30 μA	7.381 pF	6.03 ns
1298 V	1.092 V	0.44 μA	7.605 pF	6.24 ns
1256 V	1.080 V	0.53 μA	7.866 pF	5.28 ns
1322 V	1.062 V	0.66 μA	8.689 pF	6.14 ns

표 5. 보관 허용 온도 테스트.
Table 5. T_{stg} test of diode.

(a) low temperature test ; -55 ℃

before test		after (-55 ℃, 4 days)	
V_{DC} (V)	I_R (μA)	V_{DC} (V)	I_R (μA)
1.088	0.44	1.082	0.46
1.102	0.35	1.114	0.43
1.086	0.34	1.048	0.30
1.018	0.37	1.012	0.37
1.068	0.24	1.030	0.34

(b) high temperature test ; 150 ℃

before test		after (150 ℃, 4 days)	
V_{DC} (V)	I_R (μA)	V_{DC} (V)	I_R (μA)
1.142	0.21	1.238	0.20
1.062	0.22	1.044	0.14
1.128	0.48	1.086	0.41
1.114	0.34	1.202	0.38
1.082	0.49	1.114	0.47

T_{RR}은 역방향 회복 시간으로 fast recovery diode의 스위칭 속도에 영향을 주므로 고속 스위칭을 요구하는 다이오드에서 가장 중요한 의미를 지니고 있다. T_{RR}측정을 일반적인 회로를 구성하여 입력단에 펄스 발진기를 연결하여 전압의 크기를 50 V(DC)로 설정하고, oscilloscope로 그 결과를 측정하였다. 측정 결과는 오실로스코프의 결과의 최대 역전류값을 1 A로 보정하여 0 A에서 최대 역전류 값을 지나 최대 역전류 값의 25 %까지 감소하는 시점까지의 시간을 측정하며, 결과는 FR105 다이오드의 기준치인 250 ns보다 낮은 값인 5.28 ns로 매우 좋은 결과값을 얻었다. 이는 다이오드 내부의 소수 캐리어의 수명을 효과적으로 감소시켜 역전압 회복 시간을 줄이고 있음을 보여주고 있다.

표 5는 허용 보관 온도 범위 테스트의 결과를 나타낸 것이다. 측정 샘플을 저온과 고온에서 장시간 방치한 후 특성의 변화를 측정하기 위해 테스

표 6. 납 내열성 테스트.
Table 6. Solder heat test.

before test		after 270 ℃, 10 sec	
V_{DC} (V)	I_R (μA)	V_{DC} (V)	I_R (μA)
1.044	0.23	1.062	0.27
1.108	0.19	1.106	0.21
1.120	0.21	1.120	0.21
1.146	0.14	1.058	0.21
1.038	0.25	1.012	0.28

표 7. 온도 사이클 테스트.
Table 7. Temperature cycle test.

before test			after test		
V_{DC}(V)	V_F (V)	I_R (μA)	V_{DC}(V)	V_F (V)	I_R (μA)
1286	1.190	0.15	1286	1.188	0.14
1308	1.186	0.21	1306	1.104	0.19
1260	1.066	0.39	1260	1.054	0.32
1278	1.204	0.12	1288	1.392	0.13
1254	1.176	0.13	1244	1.250	0.19

트 전에 V_{DC}, I_R을 측정하여 기록하고, 4일동안 FR105의 보관 허용 온도 범위(T_{stg})인 저온 -55 ℃와 고온 150 ℃을 유지한 후, V_{DC}, I_R을 재측정한다. 측정된 결과 모두 허용 온도 범위 내에서 온도 변화에 크게 영향을 받지 않고 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다.

표 6은 측정 전의 데이터와 측정후의 데이터를 나타낸 표로 측정된 결과에 약간의 수치 변화는 있었으나 FR105 다이오드의 기준치를 유지하였고 솔더의 용융온도에 근접한 온도에서도 다이오드의 성능을 유지함을 확인하였다.

인장력 테스트의 측정 결과, 다이오드의 상온전극에 붙어있는 와이어와 전극 모두 떨어지지 않았으며 상온전극 페이스트가 세라믹 패키지에 단단하게 붙어있음을 알 수 있었다.

온도 사이클링 테스트의 결과는 표 7에 나열하였으며 지속적인 온도 변화에 대한 내구성이 있음을 확인하였다.

표 7은 반복 서지 전류 테스트의 결과이다. 다이오드는 서지의 높은 전류에 쉽게 파손될 수 있어 일정 수준의 서지에도 견딜 수 있는 제품이 요구된다. 결과에서는 기존 제품에 비해 초기 V_F와 I_R값이 높지만 테스트 이후에는 테스트한 다이오드의 특성에 큰 변화는 없다. 이는 제조한 칩의 성능이 패키지에 의해 감소된다고 볼 수 없다고 판단되며 서지 전류에 대한 다이오드의 내성이 강함을 알 수 있다.

표 8. 반복 서지 테스트.
Table 8. Recurring surge test.

(a) Ceramic package SMD diode

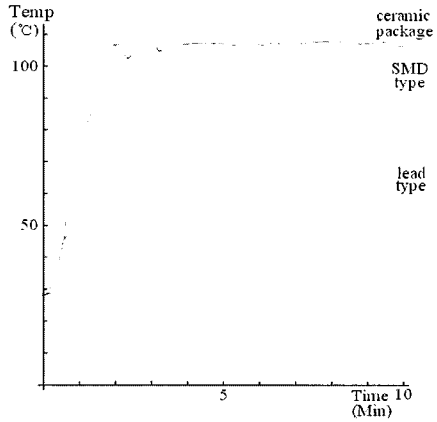
	before test		after test	
	V_F (V)	I_R (nA)	V_F (V)	I_R (nA)
1	1.038	0.28	1.072	0.26
2	1.026	0.19	1.020	0.21
3	1.070	0.22	1.066	0.21

(b) Normal SMD type diode

	before test		after test	
	V_F (V)	I_R (nA)	V_F (V)	I_R (nA)
1	0.844	0.02	0.868	0.02
2	0.848	0.02	0.854	0.02

(c) Lead type diode

	before test		after test	
	V_F (V)	I_R (nA)	V_F (V)	I_R (nA)
1	1.044	0.03	1.048	0.03
2	1.008	0.01	1.014	0.01



(a) case temperature graph from diodes

	Temp(℃)
Ceramic Package SMD	107.2 ℃
SMD Type	88.7 ℃
Lead Type	58.7 ℃

(b) case temperature

그림 2. 표면온도 상승 그래프.
Fig. 2. Temperature case graph.

그림 2는 표면온도상승 측정 테스트의 결과이다. 세라믹 패키지의 경우 그림 2의 결과와 같이 케이스에서 높은 온도로 열을 방출하여 방열판과 같은 역할을 하고 있다. 세라믹 패키지의 온도는 107.2 ℃까지 상승하여 열을 방출하여 내부의 열을 발산시키며 온도를 유지함으로써 온도에 의한 주위의 영향을 최소화 하고 있음을 보여주고 있다.

4. 결 론

세라믹 패키지를 이용한 표면실장형 다이오드는 최근 소형화되고 있는 전자기기의 정류회로의 부품으로서 적합한 크기를 가지고 있으며 제조공정이 복잡하지 않고 간소화된 방식으로 제작할 수 있었다. 세라믹 패키지를 이용한 소형화 다이오드의 제조로 기존 다이오드보다 작으면서 전기적 특성은 빠른 역회복 다이오드, FR105의 기준에 적합한 결과를 얻을 수 있었고, 신뢰성 테스트에서도 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 특히 역회복 시간이 5.28 μs로 고속 스위칭이 가능하며 전압을 인가할 때 발열되는 열은 세라믹 패키지가 방열판의 역할을 대신하여 다이오드의 온도에 대한 변화를 최소화하였다. 기존 제품에 비해 성능이 약간 떨어지는 부분에 대해서는 다이오드 칩의 선택 또는 성능의 개선을 고려할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] F. Cappelluti, F. Bonani, M. Fruno, G. Ghione, R. Carta, L. Bellemo, C. Bocchiola, and L. Merlin, "Physics based mixed mode reverse recovery modeling and optimization of Si PiN and MPS fastr recovery diodes", Microelectronics Journal, Vol. 37, p. 190, 2002.

[2] 김상철, 김은동, "전력반도체 기술 및 시장동향", 전기재료학회논문지, 15권, 3호, p. 19, 2002.

[3] 김성진, "금속 가드링에 SiC 쇼트키 다이오드의 항복전압에 미치는 영향", 전기재료학회논문지, 18권, 10호, p. 877, 2005.

[4] 김병길, 백종무, 이재성, 배영호, "양성자가 주입된 NPT형 전력용 다이오드의 전류-전압 특성", 전기재료학회논문지, 19권, 1호, p. 9, 2006.

[5] 이혁모, "환경친화적 무연솔더링 접합 기술 동향", 전기재료학회논문지, 16권, 7호, p. 22, 2003.