

## 게이트 확산 시간에 따른 트라이액의 전기적 특성 연구

홍능표\*, 최두진, 이태선, 최병하, 김태훈, 홍진웅<sup>1</sup>  
 페어차일드코리아반도체(주), 광운대학교 전기공학부<sup>1</sup>

### Electrical Characteristics of the Triac according to the Gate Diffusion Time

N-P Hong\*, D-J Choi, T-S Lee, B-H Choi, T-H Kim, J-W Hong<sup>1</sup>  
 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR KOREA LTD., KwangWoon University Dept. of Electrical Eng.<sup>1</sup>

**Abstract** - The triac is a bidirectional triode with blocking and conducting characteristics used in motor control or heater power control. This greatly simplifies the circuits required for the control of the full wave AC power by reducing the number of power handling components and by reducing the size and complexity of the gate control circuit.[3]

In this paper, We can understand measurement results of analysis which have been made on the electrical characteristics of triac with gate diffusion time for the gate area.

### 1. 서 론

트라이액은 SCR(Thyristor)의 한 종류로써 SCR 동작과 동일하게 게이트 트리거 신호에 의해 동작하는 전력용 반도체 소자이다. SCR은 단방향 소자인데 반해 트라이액은 게이트에 정(+) 또는 부(-)신호에 따라 소자의 도통전류를 양방향으로 도통시킬 수 있어 AC제어가 가능하다는 점에서 SCR과 다르다 하겠다.

트라이액은 또한 SCR과 마찬가지로 게이트 신호나 T1, T2단의 전압을 Breakover값을 넘을 때까지 증가시키므로써 온 상태가 되며 T1, T2 양단간을 도통시킬 수 있다. 또한 T1, T2 양단간에 흐르는 전류가 I<sub>h</sub>(유지 전류) 이상에서는 온 상태를 유지하나 유지전류 이하의 전류에서는 트라이액은 off상태로 유지하게 된다.

본 연구에서는 shorted구조를 갖는 12A급 트라이액에서 Gate 이온주입 후 게이트 영역형성을 위한 확산 시간에 따른 트라이액의 전기적 특성을 기술하고자 하며 이를 통하여 향후 shorted구조를 갖는 트라이액 설계에 있어 게이트 영역 확보를 확산 시간에 따른 트라이액의 특성을 해석하여 적정 공정조건을 얻는데 도움이 되고자 하였다<sup>[2,3]</sup>.

### 2. 본 론

#### 2.1 시료 제작

트라이액 800V/12A급 트라이액을 기본으로 제품 양산 공정 중 발생 가능한 확산시간과 트라이액 소자의 전기적 특성을 비교 분석하고자 하였다. 우선 선택된 웨이퍼 원자재를 기초로 초기산화 공정을 진행한 후 양면 사진장비를 이용하여 칩(chip)과 칩을 서로 분리시켜줄 구분(:isolation)영역의 패던 형성이었다. 일부 선진 업체들의 경우 구분 영역을 mesa방식이나 액상 알루미늄 dopant를 이용하여 비교적 단시간에 형성하고 있으나 본 실험에서는 일반적으로 사용되고 있는 고농도 붕소(고농도 boron, BBr3)을 침착한 후 고온에서 장시간 확산하여 구분 영역을 형성한다. 분리 영역 형성 후에는 소자 동작 영역이 되는 게이트 영역과 n+ 및 p+영역을 형성하게 된다. 게이트 영역 형성을 위해 사진공정 진행 후 양면 이온주입을 한다. 동일한 조건의 게이트 이온주입 후 적

정 게이트 영역을 확보하기 위하여 확산은 1200도 이상의 고온에서 45시간, 60시간, 75시간 확산 진행하였다.

이후 공정은 일반적인 트라이액의 공정 기준에 따라 p+영역과 n+영역을 각각 형성하였으며 콘택(:contact)창을 형성한 후에 알루미늄 전면 적극을 형성하고, Ag를 뒀던 전극용으로 형성 하였다. 조립은 TO-220F 패키지로 만들어 그 특성을 평가하였다.

#### 2.2 실험 공정 소개

트라이액의 특성을 만족시키기 위해서는 설계뿐만 아니라 적정 공정조건이 필수적으로 요구된다. 특히 게이트 영역의 불순물 농도나 확산후의 접합 깊이(:X<sub>jp</sub>)는 게이트 제어 전류와 전압의 크기를 결정하는 중요한 요소이다. 결국 트라이액은 PNP트랜지스터의 역 병렬 구조를 갖고 있으며 이로 인하여 NPN1트랜지스터의 전류 이득 a1과 PNP2트랜지스터의 전류이득 a2의 합이 1에 근사한 값으로 유도되면 주 전류가 무한대 상태로 흐르게 되는 구조를 가지고 있는 전력용 반도체 소자이다.

#### 2.3 실험 결과

##### 2.3.1 항복전압 특성 결과

그림1은 동일한 도즈(:dose)로 게이트 이온주입 후 확산 시간에 따른 항복전압을 측정한 결과이다. 결과를 통해서 알 수 있듯이 60시간 진행한 시료보다 45시간 확산 진행한 시료가 100V정도, 이면(reverse) 항복전압의 경우 약 80V정도 낮은 값을 나타나는 것을 확인할 수 있다. 75시간 확산 진행한 시료의 경우에도 60시간 확산 진행한 시료의 결과보다 표면의 항복전압은 30V정도, 이면 항복전압의 경우 약 40V정도 낮은 수준의 값을 나타내지고 있다.

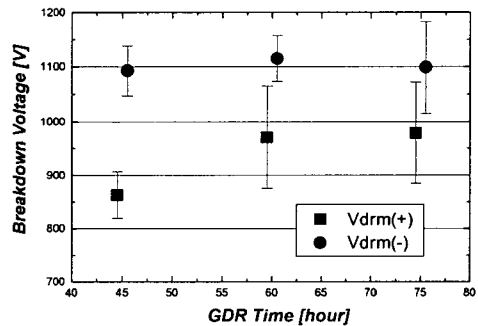


그림1. GDR시간에 따른 항복전압특성

이는 트라이액과 같이 인가 역 바이어스에 따른 공핍층의 확장 영역의 길이가 충분히 큰 non-punchthrough 형태의 경우 항복전압은 저농도층의 두께보다는 대부분 에지(:edge)영역의 접합 마감 기술에 의해 결정되므로 이

에 맞는 적정 공정조건만이 최대의 효율을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

확산 시간과 게이트 불순물의 확산 깊이( $X_{jp}$ )와 농도를 알아보기 위하여 SRP(Spreading Resistor Profile)를 통하여 각각에 대한 결과를 얻었다.

### 2.3.2 $I_{GT}$ (게이트 트리거 전류)특성 결과

그림2는 게이트 확산시간과 게이트 트리거 전류인  $I_{GT}$ 와의 상관성을 나타낸 그림이다.

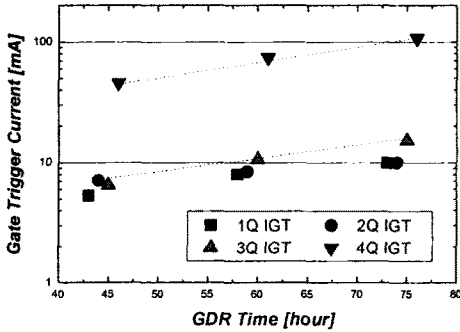


그림2. 확산시간에 따른  $I_{GT}$ 특성

트라이앵글에서의 게이트 트리거 전류 특성은 항복전압과 함께 트라이앵글을 도통 시키기 위한 게이트단에 인가하는 전류를 나타내는 것으로 트라이앵글의 양방향 도통특성으로 인하여 상황에 따라 4가지 경우로 동작 가능하다. 일반적으로 1Q,2Q,3Q에 비하여 4Q의 감도가 떨어지는 특성을 보이며 게이트 확산시간에 따라 그 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 게이트 트리거 전류를 규정하는데 있어서 트랜지스터의 베이스 폭 변화에 의한 증폭율(gain)의 변화와 상관성을 나타내고 있다.

게이트 트리거 전류는 그림3에 보여지는 바와 같이  $\delta_B/d$ 의 저항값 감소의 직접적 영향으로  $X_{jp}$ 에 따라 증가한다. 등가회로의 전지에서 이것은  $R_1$ 과  $R_0$ 저항값에 감소를 의미한다.

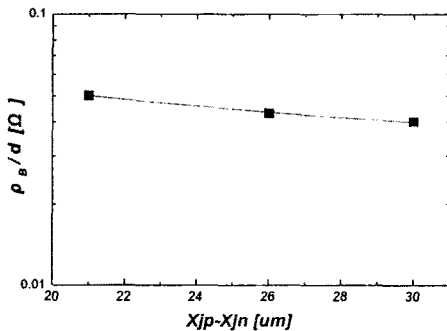


그림3.  $\delta_B/d$ 와  $X_{jp}-X_{jn}$ 의 관계

여기서 게이트 확산 시간에 따른 확산층 깊이의 변화에 따른 일정한 값에 대하여 게이트 전류값을 그림4와 그림5에 표현하였다. 게이트 트리거 전류는 정션(junction)을 더 깊이 밀어냄으로써 증가될 수 있다.

통상적으로 게이트 구동 전류는 다음의 식으로 간략화 되어질 수 있다. 즉 게이트 전류의 주된 영향은 에미터 저항  $R_0, R_1$ 이라는 것의 설명으로부터 해석되어진다.

$$I_{GT} \approx \frac{V_T}{R_{sl}} \ln(X) \quad (1)$$

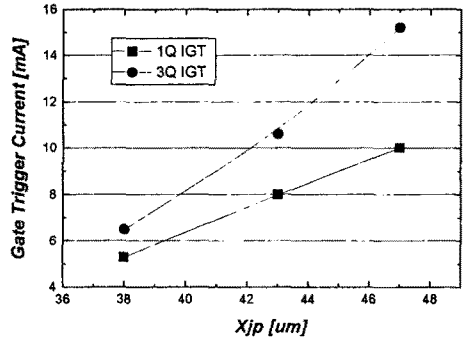


그림4.  $X_{jp}$ 에 따른  $I_{GT}$ 특성

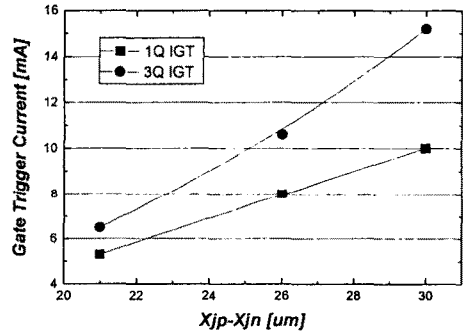


그림5.  $X_{jp}-X_{jn}$ 과  $I_{GT}$ 특성

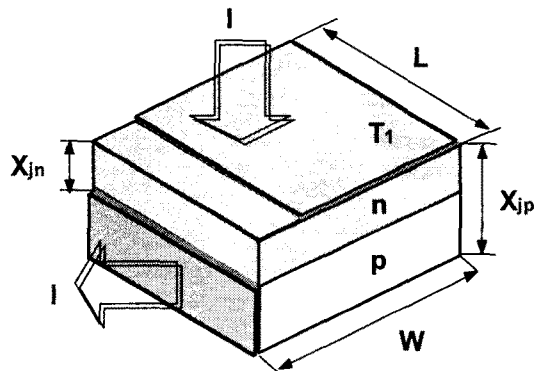


그림6.  $T_1$ 과 게이트 확산사이의 분배 저항

그림6에서  $T_1$ 과 게이트 확산 사이의 분배 저항을 나타낸 그림으로 다음의 식에 의해서 정의되어진다.

$$R_1 \approx \frac{\rho}{L} \cdot \frac{X_{jn}}{X_{jp}} \cdot \sqrt{2} \quad (2)$$

### 2.3.3 $(dv/dt)_c$ 특성 결과

그림7은 게이트 확산시간과 트라이앵글  $(dv/dt)_c$ 특성을 나타낸 그래프이다.  $(dv/dt)_c$ 특성은 오동작 특성으로써 소자내에 존재하는 2개의 SCR의 상호 간섭효과에 의해

소자가 오동작하여 on상태가 되는 현상이다.

게이트 트리거 전류가 없는 상태에서  $(dv/dt)_c$  특성은 인가 전압 기술기에 의해 게이트 트리거 전류성분처치 작용하여 소자의 오동작을 유발시키는 것으로 이때의 전압 변화율을  $(dv/dt)_c$ 라 나타낸다.

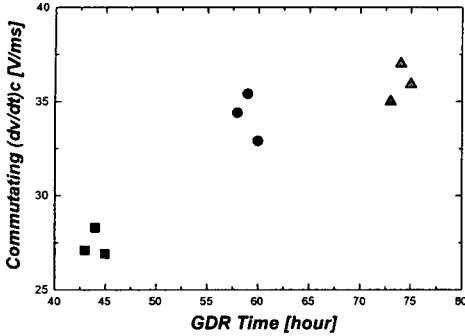


그림7. 25°C에서의  $(dv/dt)_c$  특성

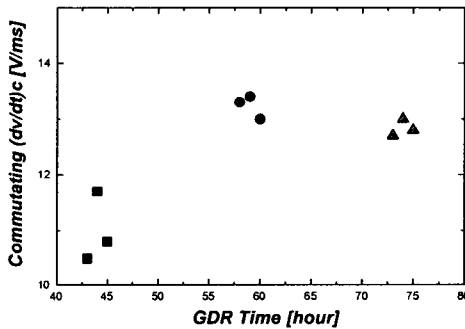


그림8. 125°C에서의  $(dv/dt)_c$  특성

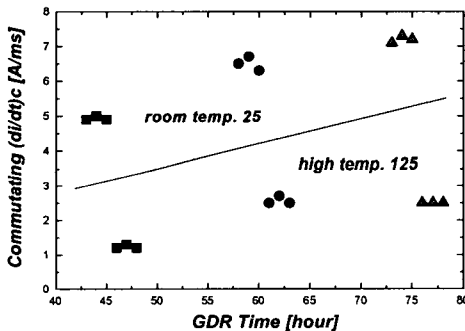


그림9. 25°C와 125°C에서  $(di/dt)_c$  특성

그림7에서 알 수 있듯이 상온(25°C)에서의  $(dv/dt)_c$  특성을 나타낸 그래프로서 게이트 확산시간 증가에 따라  $(dv/dt)_c$  값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 동일한 게이트 이온주입 도즈(dose)에서 게이트 확산시간이 증가함에 따라 p 베이스 영역은 확장되며 또한 n+정션 부근에서의 p 베이스 농도가 높아진다는 것을 그림10을 통해서 확인할 수 있다. 이로 인하여 SCR1이 on 상태에서 off 상태로 전환될 때 주입된 캐리어의 소멸시 n+정션

부근의 p 베이스 쪽의 불순물 농도에 의해 n+와 p 베이스 간의 순방향 온전압이 유지되어 트라이액 소자의 off 영역에서 소자가 off되지 않고 on되는 것으로 사료된다.

그림8에서는 125°C 때의 특성값을 나타낸 그래프로서 주변 온도 및 소자의 고온특성에서는 45시간 확산진행한 시료가 역시 상온에서와 유사한 경향의 특성을 나타내며 60시간 확산 진행한 시료와 75시간 진행한 시료와는 비교적 오차 범위내의 결과가 나타남을 확인할 수 있다. 이는 상온에서의 측정 결과와도 유사한 경향으로써 그림10에서 45시간 확산 진행한 시료가 60시간과 75시간 확산 진행한 시료에 비하여 50% 이상 낮은 농도를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

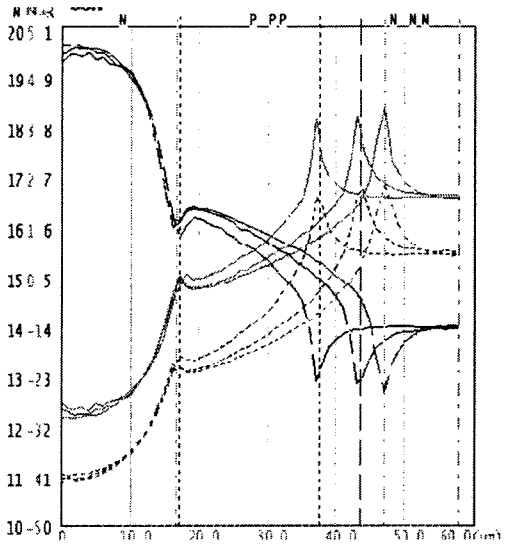


그림10. GDR 조건에 따른 SRP 결과

### 3. 결론

전원단의 교류 제어용 소자로 널리 상용화 되어 사용중인 트라이액의 제조공정에 있어서 소자의 기본특성에 막대한 영향요소인 게이트 확산 조건에 따른 소자의 특성을 확인하였다. 특히 게이트 확산시간 변화에 따른  $X_{jp}$ 가 커짐에 따라 게이트 트리거 전류값의 상승폭을 확인할 수 있었다.

게이트 트리거 전류값을 감소시키기 위하여 소자 내부에 존재하는 R1저항의 상승이 요구되어진다. 또한 게이트 트리거 전류값과 대표적 오동작 항목인  $(dv/dt)_c$  특성은 서로 trade off 상태를 갖는다.

추후 보다 많은 실험을 통하여 공정변수에 따른 소자의 특성에 대한 보다 심도 있는 연구가 병행되어야 하겠다.

### (참고 문헌)

- [1] GE company, "SCR manual", GE company, 2nd Edition, p7-18, 1984
- [2] 이양원, "다이리스터의 응용장치", 기전연구사, p7-24, 1989
- [3] Adolph Blicher, "Thyristor Physics", Springer-Verlag, p46~57, 1976
- [4] P.Rault, "Improvement in the triac commutation", SGS-Thomson application note, 2002