

Lateral 구조의 MOS-controlled thyristor 전력소자의 제작조건에 따른 스위칭 특성

정태웅, 이응래, 김남수
충북대학교 반도체공학과

Switching characteristics due to fabrication method of Lateral MOS-controlled thyristor

T.W. Jeong, E.R. Lee, and N.S. Kim

School of Semiconductor Engineering , Chungbuk National University

ABSTRACT

Lateral MCT(MOS-controlled thyristor)소자의 전기적 특성 parameters의 변화에 따른 스위칭 특성을 조사하였다. 제안된 Lateral 구조의 MCT는 채널과 drift영역의 제작과정이 간편하여 ON저항이 작으면서, 대전류용인 전력소자의 제작이 가능할 것으로 사료되는데, SPICE와 MEDICI 시뮬레이션을 이용하여 drift 저항, transit time 및 불순물 농도 분포에 따른 전기적 특성을 알아보았다. 불순물의 농도와 채널길이의 변수에 의한 소자의 저항을 변화시켜 DC 특성과 주파수 특성을 조사하였는데, 저항이 커질수록 turn-off 시간과 ON 저항은 증가함을 나타냈다.

1. 서론

사이리스터는 1957년 개발된 이래 전력용 전자회로 부분에 광범위하게 사용되고 있는데, Power MOSFET, IGBT, MCT, SIT등이 추가로 개발되어 전력스위칭 소자의 용도와 기능의 현저한 발전을 이루어왔다.

MOS구동 사이리스터(MCT)는 MOSFET으로 ON-OFF의 기능이 가능하며, 비교적 빠른 스위칭 속도와 낮은 ON 저항의 특성을 가지고 있다. 본 논문에서는 MCT 소자의 구조를 단순화한 lateral 구조의 MCT 전력스위치의 전기적 특성을 조사하였다. 제안된 lateral 구조는 anode, gate, cathode 전극이 1차원 구조로 존재하여, 제조과정이 단순하면서, 소자의 전류의 흐름을 단순화하여 전력스위칭 특성에 많은 유리한 점을 가지고 있다. 본 연구에서는 채널의 도핑농도와 길이를 변화시켜 DC 특성 및 스위칭 특성을 조사하였다.

2. 본론

2.1 소자의 구조 및 동작원리

그림 1에 lateral MOS-controlled thyristor의 cross-sectional 구조를 나타냈다. anode는 P+과 N+에 단락되어 있으며, P+N-P-N+의 thyristor가 P-의 OFF-FET, N-의 ON-FET의 채널과 존재하고 있다. Thyristor의 drift영역인 N-부위에는 ON-FET의 채널과 공유되어 있다. Gate에 negative전압이 걸리게되면 p-channel이 형성되어 anode의 정공이 cathode쪽으로 흘러들어가 소자를 턴온시키게 된다. 이와 반대로 gate에 positive전압이 걸리게되면 n-channel이 형성되어 anode로부터 cathode로의 정공의 흐름을 막아 소자를 턴오프시키게 된다. 그림 2에 소자의 등가회로를 나타내었다. anode의 P+에서 cathode 아래의 P-까지의 PNP와, cathode의 N+에서 N-까지의 NPN 트랜지스터가 thyristor 구조를 이루고 있다.

그림 3은 그림 1의 구조에서 MEDICI 시뮬레이션으로 gate와 anode에 일정한 전압을 가하였을때, 다수캐리어인 정공의 이동방향을 보여주고 있다.

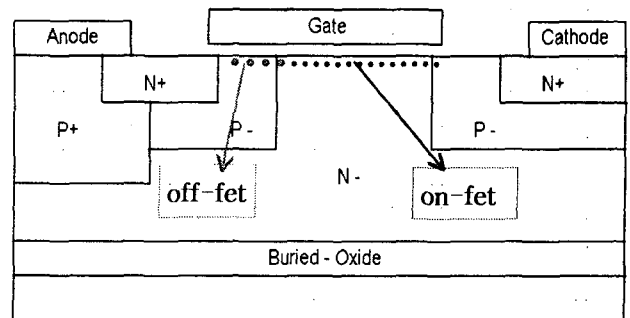


그림 1 소자의 구조

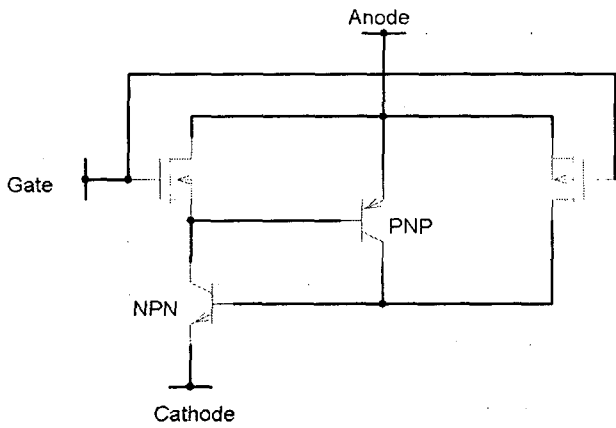


그림 2 소자의 등가회로

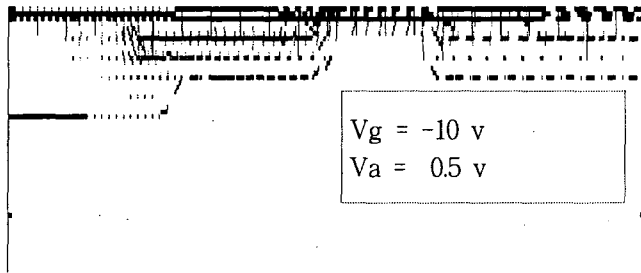


그림 3 Hole의 이동 경유

가운데 게이트를 통해 anode로부터 cathode로 정공이 흘러가는 line을 표시하고 있으며, thyristor의 정상적인 전류흐름을 볼 수 있다.

2.2 소자의 순방향 특성

그림 4은 anode에 대한 순방향 I-V 특성을 나타내고 있으며, anode 전압이 40V 일때, thyristor의 latch-up 현상이 관찰된다.

그림 5에서 P- 영역의 도핑농도가 높아짐에 따라 일정 anode전압에서 anode전류는 감소하였으며,

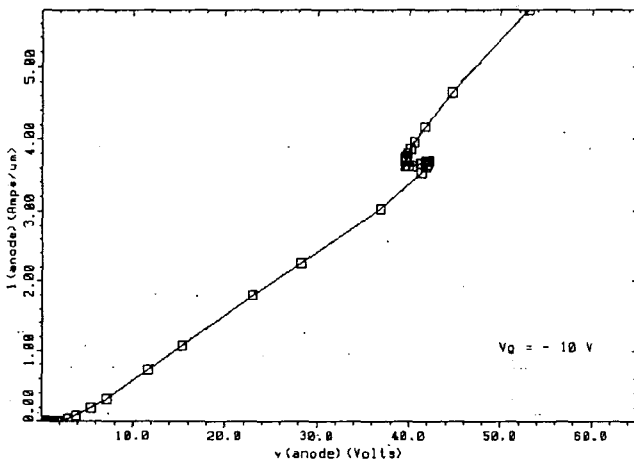


그림 4 I_A vs V_A 특성

ON 저항은 증가할 것으로 사료된다. 또한 그림 6은 on-fet의 채널 길이에 따른 I-V특성을 보여주고 있다. 채널 길이가 증가함에 따라, anode 전류가 감소함을 알 수 있다. 이는 채널이 길어짐에 따라, MOSFET의 채널저항이 증가하게 되고, 순방향 전압을 증가시키게 된다.

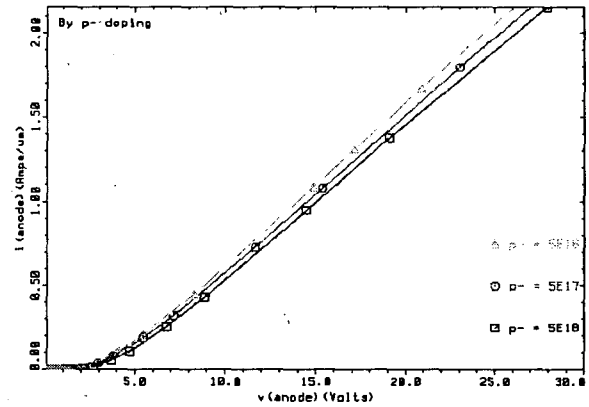


그림 5 P- 영역의 도핑에 따른 $I_A - V_A$ 특성

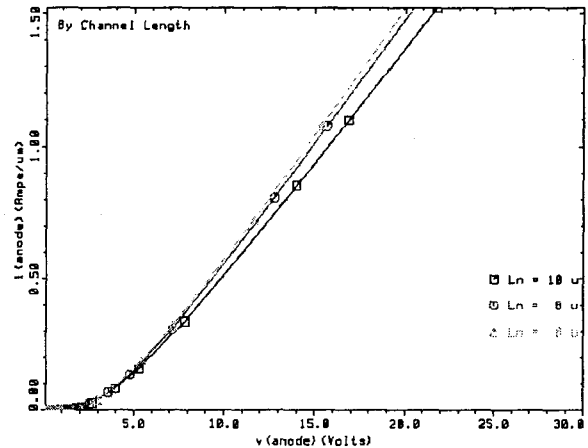


그림 6 N- channel 길이에 따른 $I_A - V_A$ 특성

2.3 소자의 스위칭 특성

전력소자에서 턴오프 시간은 소자가 오프시 PN junction의 소수캐리어가 감소하는때는 한계가 있으므로, 턴온 시간보다 상당히 느린편이며 switching 특성을 결정짓는데 중요한 역할을 한다.

보통의 전력소자는 턴온 시간은 보통 1us 정도의 좋은 값을 유지하나, 턴오프 시간은 이에 비해 몇 배이상 느린편이다.

그림 7에서 소자의 turn-off 시간은 n-channel을 형성시키는 gate전압이 높을수록 그 특성이 빠른 것을 보여주고 있는데, 이는 gate전압이 커짐에 따라, channel을 통해 더욱 많은 전자들이 흘러 정공 전류를 제거하기 때문으로 사료된다.

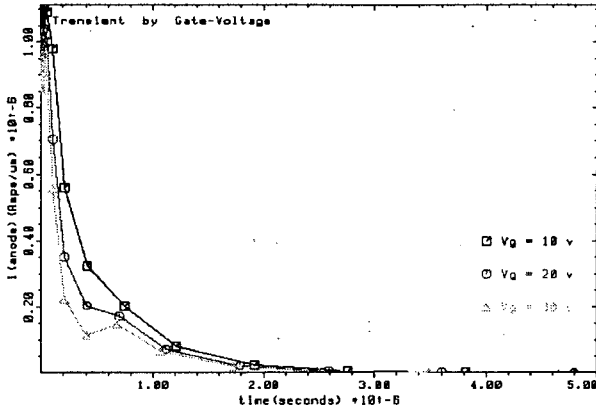


그림 7 gate 전압에 따른 Turn-off 특성

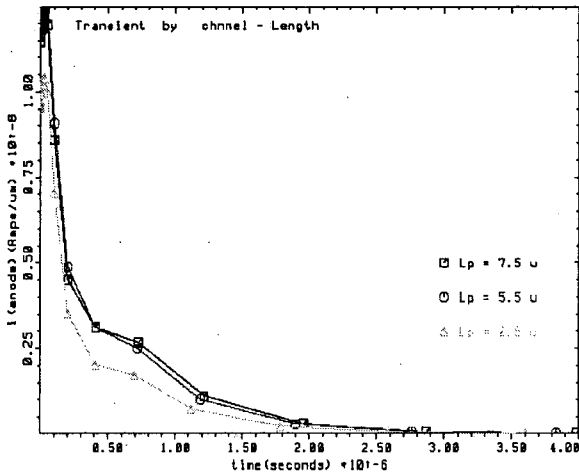


그림 8 P-channel 길이에 따른 Turn-off 특성

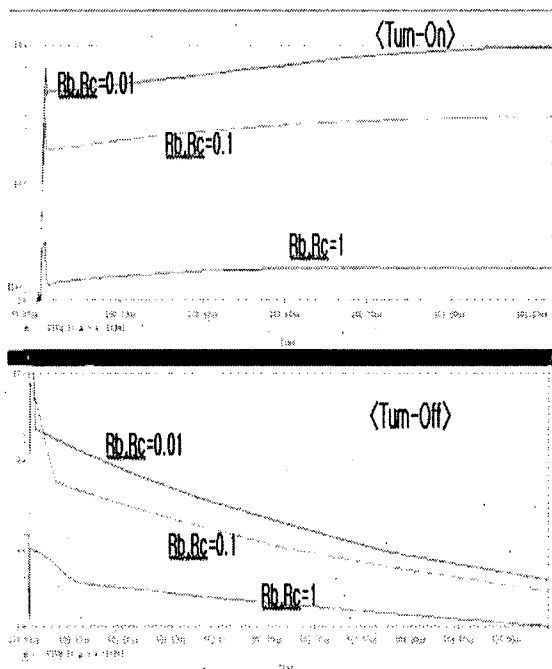


그림 9 NPN-PNP 각각의 Base, Collector 저항에 따른 Transient 특성

그림 8은 p-channel의 길이가 길어짐에 따라 turn-off 시간이 느려짐을 보여주는데, 이는 channel 저항의 증가로 전자의 흐름을 방해하기 때문이다.

그림 9는 SPICE tool로 소자의 transient 특성을 조사한 것인데, MEDICI 모의실험에서 소자의 p-channel의 저항변화는 그림 9에서 Rb로 표현될 수 있다. 그림에서 Rb저항이 커질수록 turn-off 시간은 많이 증가함을 보이고 있는데, 이는 그림 8의 현상과 같음을 알 수 있다. 반면 turn-on 시간은 Rb 저항과 상관없이 거의 같음을 나타내고 있다.

3. 결 론

Lateral MCT의 전기적 특성을 drift 영역의 농도와 길이 변수로서, anode 전류 특성 및 turn-off시 transient 특성을 조사하였다. p-영역의 농도가 증가하면 ON저항이 증가하고 anode전류는 감소하였으며, 채널길이가 짧을수록 ON저항 및 turn-off 시간은 감소하였다.

SPICE 특성에서 drift영역의 저항변화에 대한 transient ON-OFF 특성을 확인하였는데, 채널저항이 증가할수록 turn-on 시간은 거의 같았으나, turn-off시간은 증가하였다.

참 고 문 헌

- [1] Zia Hossain "Physics-Based MCT Circuit Model Using the Lumped-Charge Modeling Approach", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 16, No. 2, March 2001.
- [2] H. Mehta, "Applications of MOS Controlled(MCT) and Mos Turn-Off(MTO) Thyristors", IEEE, 2000.
- [3] Mohamed N. Darwish, "Lateral MOS-gate power devices-a unified view", IEEE Trans. Electron Device, Vol. ED-38, pp. 1600-1604, 1991.
- [4] Mohamed N. Darwish, "A New Lateral MOS-controlled thyristor", IEEE Trans, Electron Device Letter, Vol. EDL-11, pp. 256-257, 1990.
- [5] B.J. Baliga, "High voltage integrated circuits", IEEE press, 1988.