

홀 효과와 에미터 인젝션 모듈레이션이 결합된 자기트랜지스터의 포화영역에서의 민감도 증가 현상에 관한 연구

강 옥성*, 이승기**
 *서울대학교 전기공학과
 **단국대학교 전기공학과

A Study on the Sensitivity Increase of the Magnetotransistor with Combined Hall Effect and Emitter Injection Modulation Operated in the Saturation Region

Uk-Song Kang* and Seung-ki Lee**
 *Seoul National University, Dept. of Electrical Eng.
 **Dankook University, Dept. of Electrical Eng.

Abstract

We designed and fabricated a highly sensitive magnetotransistor which employs the emitter region as a Hall plate for inducing Hall voltage across the emitter. The Hall voltage modulates the emitter-base junction bias on both sides of the emitter so that a large collector current difference is resulted. The specially designed p⁺ ring around the emitter enhances accumulation of drifted electrons in the emitter and thus the Hall voltage. A relative sensitivity of 240/tcsla is measured by operating the device in the saturation mode.

1. 서론

자기트랜지스터는 높은 민감도 및 다른 집적회로와 함께 단일 칩에 구현할 수 있는 장점 때문에 많은 연구가 집중되고 있는 자기센서 소자이다. 자기트랜지스터의 가장 중요한 특성 중의 하나인 민감도의 향상을 위해 새로운 구조 및 동작원리를 이용하는 여러 종류의 소자가 제안된 바 있다 [1].

자기트랜지스터의 동작원리로서는 캐리어 디플렉션(carrier deflection)과 에미터 인젝션 모듈레이션(emitter injection modulation)이 있다 [2,3]. 캐리어 디플렉션 모델은 컬렉터 전류차가 로렌츠 힘에 의한 캐리어 편향에 의하여 발생한다고 설명하는 반면에 에미터 인젝션 모듈레이션 모델은 컬렉터 전류차가 베이스 영역에 유기되는 홀 전압에 의한 에미터 베이스간의 순방향 바이어스의 모듈레이션에 의하여 발생한다고 설명한다. 이 두가지 동작원리가 동시에 일어나는 것으로 보는 것이 일반적이다.

에미터 인젝션 모듈레이션을 동작원리로 사용할 경우 민감도가 매우 향상된다 [1]. 이와 같은 점을 감안하여 에미터 인젝션 모듈레이션의 영향을 극대화시키는 특수한 구조를 갖는 '분리된 전계를 갖는 자기트랜지스터'가 제안되어진 바 있다 [4].

본 연구에서는 에미터 인젝션 모듈레이션의 영향을 극대화하기 위하여 p⁺ 링을 넣는 등, 기존의 분리된 전계를 갖는 자기트랜지스터를 보완, 개선한 새로운 자기트랜지스터를 제작하고 그 특성을 측정, 분석하였다. 제작한 자기트랜지스터를 순방향 편성영역에서만 아니라 포화영역까지 동작영역을 확대하여 상대적 민감도를 측정하였다.

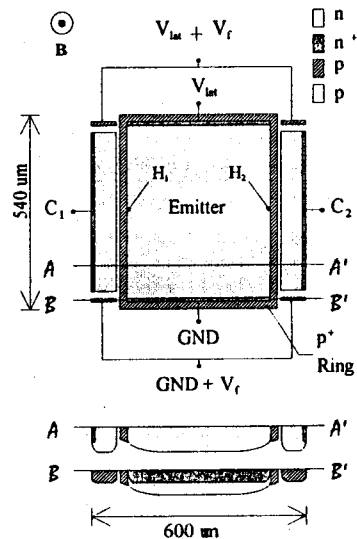


그림 1. 제작된 자기트랜지스터의 구조.

2. 소자 구조 및 동작 원리

제작된 자기트랜지스터는 그림 1에 나타낸 바와 같이 npn 수평형 트랜지스터로서 이중 컬렉터를 갖는 구조로 되어 있다. 에미터에 부착된 두개의 전극을 통하여 전계가 가해지므로 인해 가속된 전자들이 로렌츠 힘의 영향을 받아 에미터 내에 홀전압을 유기시킨다. 소자가 차지하는 면적은 600 μm × 540 μm이며 에미터의 크기는 500 μm × 400 μm, 베이스 길이는 30 μm 그리고 p⁺ 링의 폭은 20 μm이다.

에미터 내에 인가된 전계에 의한 전자의 표류와 에미터에서 베이스영역으로의 전자의 주입이 분리되어 나타날 수 있도록 두쌍의 베이스 전극을 통하여 에미터에 인가한 전계와 같은 크기의 전계를 걸어준다. 이와 같은 경우, 에미터 베이스 집합을 따라 균일한 크기의 순방향 전압이 걸리게 된다.

에미터를 둘러싸고 있는 p⁺ 링은 에미터와 베이스 간의 전위 장벽을 높여줌으로써 에미터 쪽에 전자들이 쌓이는 것을 도와주는 역할을 한다.

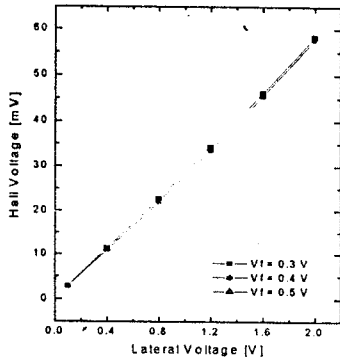


그림 2. 수평전압에 따른 유효된 홀 전압 ($B = 0.3$ tesla, $V_C = 7.0$ volts).

p^+ 링이 있을 경우에 유효되는 홀전압은 p^+ 링이 없을 때보다 훨씬 더 크게 나타난다. 유효되는 홀 전압을 측정할 수 있도록 에미터 내에 두개의 홀전극을 부착시켰다.

그림 1에 나타난 방향으로 자장을 인가하면 에미터 내에서 수평전계에 의하여 가속되는 전자가 로렌츠 힘을 받아 왼쪽으로 편향되어 에미터 내에 수평방향으로 홀전압을 유효시키게 된다. 유효된 홀 전계는 왼쪽의 순방향 바이어스의 크기를 증가시키는 반면 오른쪽의 순방향 바이어스의 크기를 감소시켜 컬렉터 전류 I_{C1} 이 컬렉터 전류 I_{C2} 보다 증가하게 된다.

3. 실험결과

그림 2에는 0.3 tesla의 크기를 갖는 자장 하에서 수평전압을 0.1 V 에서 2.0 V 까지 변화시키며 순방향 바이어스 0.3 V, 0.4 V, 0.5 V 에 대하여 측정된 유효된 홀 전압이 나타나 있다. 이 그림에서 에미터 영역이 홀 소자의 역할을 하므로 홀전압은 수평전압에 대하여 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 각 동작 조건 하에서 유효되는 홀전압은 2 mV 에서 60 mV 사이인 것으로 측정되었다.

그림 3에 나타난 측정된 전류-전압 특성을 통하여, 제작된 소자가 자장을 인가하지 않았을 경우, 위에서 설명한 구동방법에 의하여 트랜지스터로서 전 동작함을 알 수 있다.

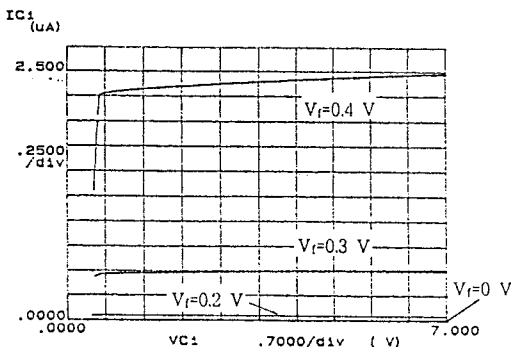


그림 3. 자장이 인가되지 않았을 경우 순방향 바이어스 0.0, 0.2, 0.3, 0.4 volts, 수평전압 of 0.8 volts에 대한 전류-전압특성.

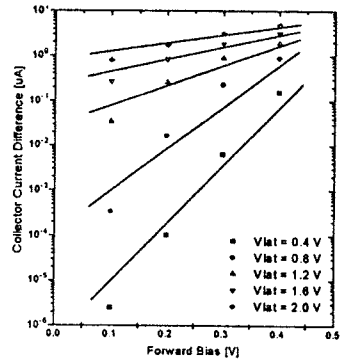


그림 4. 순방향 바이어스의 변화에 따른 컬렉터 전류차의 변화 ($B = 0.3$ tesla, $V_C = 7.0$ volts).

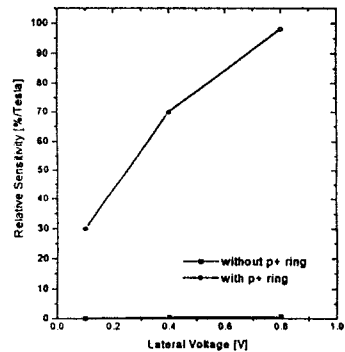


그림 5. p^+ ring이 있는 경우와 없는 경우의 상대적 민감도의 비교 ($V_f = 0.2$ volts, $B = 0.3$ tesla, $V_C = 7.0$ volts).

0.3 tesla의 자장이 인가된 상태에서 수평전압을 변수로 하고 순방향바이어스를 0.1 V 에서 0.4 V 까지 변화시키며 측정된 컬렉터 전류차를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 컬렉터 전류차는 순방향 바이어스에 대하여 지수적으로 증가하고 있음을 알 수 있으며 이것은 제작된 소자의 동작원리가 에미터 인젝션 모듈레이션임을 보여주고 있다. 일반적으로 소자의 동작원리가 에미터 인젝션 모듈레이션이면, 식 (1)에 나타난 바와 같이, 컬렉터 전류차는 순방향 바이어스에 대하여 지수적으로 증가한다 [1].

$$\Delta I_c = I_s \cdot \frac{(e^{qV_f/V_H/2kT} - 1) - (e^{qV_f - V_H/2kT} - 1)}{2}$$

$$= I_s \cdot e^{qV_f/kT} \cdot \sinh(qV_H/2kT) \quad (1)$$

여기서 V_f 는 순방향 바이어스, V_H 는 유효되는 홀 전압, I_s 는 포화전류, ΔI_c 는 컬렉터 전류차를 나타낸다.

그림 5에는 0.3 tesla의 자장과 0.2 V의 순방향 바이어스 인가 시, 링이 있는 경우와 없는 경우의 상대적 민감도 측정값이 나타나 있다. 에미터 내에 캐리어를 쌓이게 하여, 유효되는 홀전압의 크기를 증가시키는 역할을 하는 p^+ 링을 통하여 상대적 민감도가 0.7 에서 99.0 %/tesla 로 향상되었다. 이러한 결과는 p^+ 링이 에미터 인젝션 모듈레이션 효과를 증대시키고 있음을 실험적으로

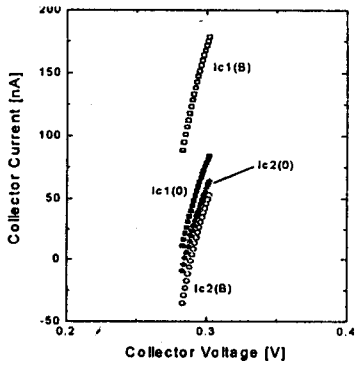


그림 6. 자장이 인가되었을 경우와 자장이 인가되지 않았을 경우의 왼쪽 및 오른쪽 컬렉터 전류의 변화 ($V_f = 0.7$ volts, $V_{lat} = 2.5$ volts, $B = 0.3$ tesla).

로 입증해 준다.

0.3 tesla의 크기를 갖는 자장을 인가했을 경우와 인가하지 않았을 경우에 대하여 측정된 컬렉터 전류의 변화를 그림 6에 나타내었다. 이때 수평전압의 크기는 2.5 V이며 순방향 바이어스의 크기는 0.7 V이다. 이 그림에서 $I_{c1}(B)$, $I_{c2}(B)$ 는 자장이 인가되었을 경우, $I_{c1}(0)$, $I_{c2}(0)$ 는 자장이 인가되지 않았을 경우의 컬렉터 전류를 나타낸다. 그림 6에 나타낸 영역에서는 에미터-베이스와 컬렉터-베이스 접합 모두가 순방향으로 바이어스가 걸려 있으므로 트랜지스터가 포화영역에서 동작한다.

컬렉터 전류의 합의 변화에 대한 식 (2)에 나타낸 상대적 민감도의 변화를 순방향 바이어스 0.6 V, 0.7 V에 대하여 그림 7 가) 나)에 각각 나타내었다. 컬렉터 전류의 합은 1 nA에서 1 mA 사이이며 이것은 트랜지스터가 포화영역에서 동작하는 경우이다.

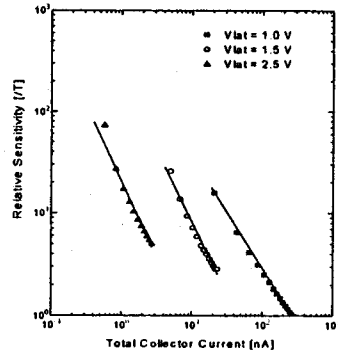
$$S_r = \frac{I_{c1}(B) - I_{c2}(B)}{(I_{c1}(0) + I_{c2}(0)) \cdot B} \quad (2)$$

그림 6으로부터, 자장이 인가되지 않았을 경우, 컬렉터-베이스 전압이 0.28 V 일 때 컬렉터 전류의 합이 1.7 nA이며 자장이 인가되었을 경우에는 컬렉터 전류차가 123.6 nA 임을 알 수 있다. 컬렉터 전류의 차가 컬렉터 전류의 합의 약 70배가 되므로 0.3 tesla의 자장 하에서 240 /tesla의 큰 상대적 민감도를 얻을 수 있다.

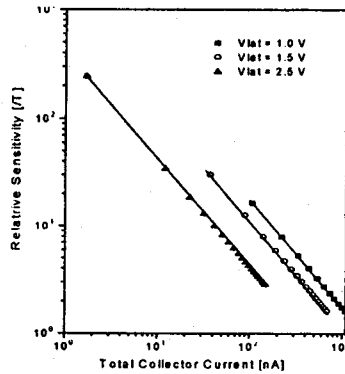
컬렉터 전류합의 크기는 컬렉터 전압을 조절함으로써 수 nA로 줄일 수 있는 반면에 에미터 내에 유기되는 혼전압은 컬렉터 전압의 변화에 영향을 받지 않으므로 전류차는 여전히 크게 나타난다. 따라서 자기트랜지스터가 포화영역에서 동작할 경우 매우 큰 상대적 민감도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

자기트랜지스터에 혼 효과와 에미터 인젝션 모뮬레이션 효과가 동시에 작용하게 소자를 설계, 제작함으로써 상대적 민감도의 향상이 가능하였다. 에미터 주위에 p^+ 링을 넣음으로써 에미



(가)



(나)

그림 7. 수평전압 1.0, 1.5, 2.5 volts에 대하여 컬렉터 전류 합의 변화에 따른 상대적 민감도의 변화. 순방향 바이어스의 크기는 가) 0.6 volts, 나) 0.7 volts이다. ($B = 0.3$ tesla).

터-베이스간의 전위 장벽을 높여 에미터 내에 유기되는 혼전압의 크기를 증가시켰다. p^+ 링이 있는 경우와 없는 경우에 측정된 상대적 민감도를 비교함으로써 링이 있는 경우에 상대적 민감도가 0.7 %/tesla에서 99.0 %/tesla로 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, 제작한 자기트랜지스터를 포화영역에서 동작시키며 상대적 민감도를 측정된 결과 최대 240 /tesla의 상대적 민감도를 얻었다.

이와 같은 결과는 소자구조 및 동작조건을 최적화 등에 의한 소자 감도의 최적화라는 측면에서 자기센서의 실제적 응용에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] H.P. Baltus; and R.S. Popovic, Proc. of the IEEE, vol. 74 (1986), pp. 1107-1132.
- [2] A.W. Vinal; and N.A. Masnari, IEEE Electron Device Letter, vol.3(1982), pp. 203-205.
- [3] V.Zieren; S. Kordic; and S. Middelhoek, IEEE Electron Device Letter, vol. 3 (1982), pp. 394-395.
- [4] S.K. Lee; K.H. Oh; J.K Rhce; K.J. Jhun; and M.K. Han, Proc. of the 6th International Conf. on Solid-State Sensors and Actuators(1991), pp. 428-431.