

## 에미터 주위의 guard ring이 분리된 전계를 갖는 고감도 자기 트랜지스터의 민감도에 미치는 영향

강 옥 성,<sup>\*</sup>이 승 기,  
 서울대학교 전기공학과, <sup>\*</sup>단국대학교 전기공학과

### The Effect of the Guard Ring around the Emitter on the Sensitivity of the Highly Sensitive Separated Drift Field Magnetotransistor

Uk-Song Kang and <sup>\*</sup>Seung-Ki Lee  
 Dept. of Electrical Eng., Seoul National Univ.  
<sup>\*</sup>Dept. of Electrical Eng., Dankook Univ.

**Abstract**

A novel magnetotransistor using a separated drift field with the guard ring around the emitter has been designed and fabricated. The operating principle of the proposed magnetic field sensor is based on the emitter injection modulation. The p<sup>+</sup> guard ring around the n-type emitter confines drifted electrons in the emitter, hence the induced Hall voltage in the emitter is increased. The measured relative sensitivity of the separated drift magnetotransistor with the guard ring is about 100 times larger than that without the guard ring.

**2. 구조 및 동작 원리**

본 논문에서 제작한 분리된 전계를 갖는 자기 트랜지스터의 구조가 그림 1에 나타나 있다. 에미터 주위에는 p<sup>+</sup> guard ring이 있고 기본적으로 수평형 npn 트랜지스터의 구조이다. 두개의 에미터 전극을 통해 에미터 내에서 x 방향으로 수평 전계가 인가된다. 에미터 전극과 평행하게 위치한 4개의 베이스 전극에는 에미터 내의 수평 전계와 동일한 전계를 인가함으로써, 에미터와 베이스 사이의 바이어스를 균일하게 유지해 준다.

그림 1에서와 같이 자장이 인가되면, 에미터 내에서 수평 전계에 의해 드리프트되는 전자들은 로렌츠 힘(Lorentz force)에 의해 에미터의 좌측으로 휘어진다(Hall 전압의 발생). 수평 전계에 의해 에미터 내에 유기되는 Hall 전압은 에미터와 베이스 사이의 접합을 통해 y 방향으로 나타난다. 따라서 유기된 Hall 전압만큼 에미터-베이스 사이의 바이어스가 변화하고 이에 의해 컬렉터 전류가 변화하게 된다.

**1. 서론**

트랜지스터의 구조를 갖는 자기 트랜지스터(magnetotransistor)는 자장에 대한 민감도가 매우 커서 앞으로 많은 응용이 기대되는 자기 센서이다 [1]. 지금까지 알려져 있는 자기 트랜지스터의 동작원리는 캐리어 디플렉션(carrier deflection) 모델과 에미터 인젝션 모듈레이션(emitter injection modulation) 모델등이 있다 [2,3]. 자기 트랜지스터가 에미터 인젝션 모듈레이션에 의해 동작하게 되면 매우 큰 민감도의 향상을 기대할 수 있으나 실제로 트랜지스터의 구조에서 에미터 인젝션 모듈레이션 효과는 매우 작은 것으로 알려져 왔다 [4]. 그러나 최근의 연구 결과에 의하면 에미터 인젝션 모듈레이션은 캐리어의 드리프트(drift)와 관련이 있고, 이 효과를 극대화하기 위해서는 에미터와 베이스 사이의 인젝션과 전계가 분리되어야 하는 것으로 나타났다 [5].

본 논문에서는 에미터에서의 전계와 캐리어의 인젝션이 분리된 구조에서, 에미터 주위에 p<sup>+</sup> guard ring을 갖는 자기 트랜지스터를 제작하여 그 특성을 분석하였다.

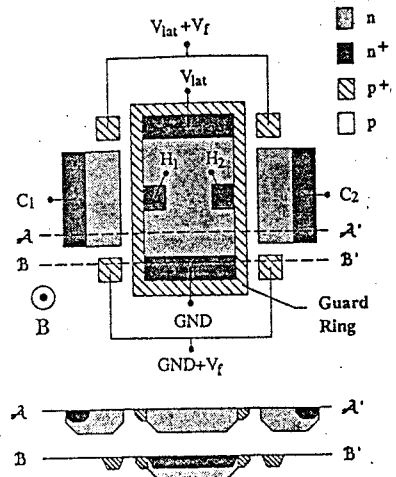


그림 1. 분리된 전계를 갖는 자기 트랜지스터의 구조

### 3. 측정 결과 및 해석

제안된 구조의 자기 트랜지스터는 표준 CMOS 공정을 이용하여 제작되었다.

에미터 내의 수평 전압의 변화에 따른 좌·우측 컬렉터 전류차의 값이 그림 2에 나타나 있다. 에미터 내의 수평 전압이 증가함에 따라 컬렉터 전류차는 증가함을 알 수 있다. 이것은 좌·우측 컬렉터 전류의 불균형이, 에미터 내에 인가된 수평 전계에 의한 전자들의 드리프트에 기인하고 있음을 뜻하는 것이다. 즉 소자 구조가 인가할 수 있는 수평 전압에 대해 최적화 된다면 컬렉터 전류차가 매우 커질 수 있음을 의미한다.

그림 3에는 에미터-베이스 바이어스의 변화에 대한 컬렉터 전류차의 변화가 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 컬렉터 전류차는 에미터-베이스 바이어스의 증가에 따라 지수 함수적으로 증가하고 있다. 이러한 현상은 캐리어 디플렉션 모델로는 설명이 불가능하고 오직 에미터 인젝션 모듈레이션 모델로만 설명이 가능하다. 에미터 인젝션 모듈레이션 모델에서의 컬렉터 전류차는 다음과 같이 표시된다.

$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \cdot \sinh\left(\frac{V_H}{2V_T}\right) \quad (1)$$

여기서  $I_S$ 는 포화 전류,  $V_{BE}$ 는 에미터와 베이스 사이의 바이어스,  $V_H$ 는 유기된 Hall 전압,  $V_T$ 는  $kT/q$ 를 각각 나타낸다. 즉, 본 논문에서 제작한 자기 트랜지스터가 에미터 인젝션 모듈레이션 효과에 의해 동작하고 있음을 알 수 있다.

자기 트랜지스터의, 인가한 자장에 대한 상대적 민감도는

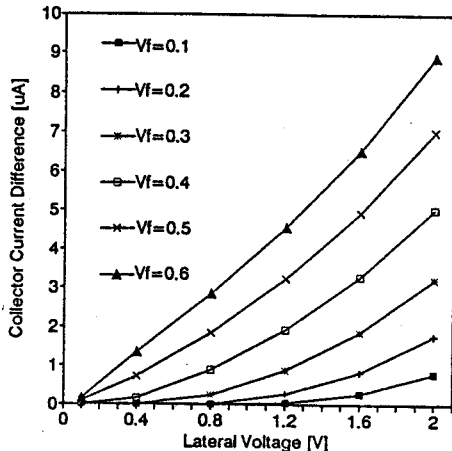


그림 2. 에미터 내의 수평 전압의 변화에 따른 좌·우측 컬렉터 전류차의 변화

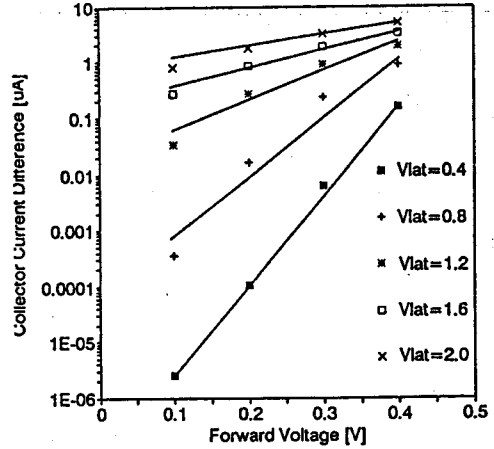


그림 3. 에미터와 베이스 사이의 순방향 바이어스의 변화에 따른 좌·우측 컬렉터 전류차의 변화

$$S_r = \frac{I_C}{I_C} \cdot \frac{1}{B} \quad (2)$$

와 같이 주어진다. 이 식에 식 (1)을 대입하면 결국 상대적 민감도는

$$S_r = \sinh\left(\frac{V_H}{2V_T}\right) \cdot \frac{1}{B} \quad (3)$$

와 같이 표시된다. 일반적으로 자기 트랜지스터의 민감도 영역은 식 (3)의 값이 선형적으로 변화하는 영역이 된다. 식 (3)에서 유기된 Hall 전압  $V_H$ 는

$$V_H = \frac{G \cdot \mu_n \cdot W_E \cdot V_{lat} \cdot B}{L_E} \quad (4)$$

와 같이 표현되며 ( $G$ 는 에미터의 형상 인자,  $\mu_n$ 는 전자의 이동도,  $W_E$ 와  $L_E$ 는 에미터의 폭과 길이,  $V_{lat}$ 는 에미터 내에 인가한 수평 전압을 각각 뜻함) 결국 상대적 민감도는 에미터 내에 인가하는 수평 전압에 대해 선형적인 변화를 나타내게 된다. 그림 4에 나타나 있는, 제작한 자기 트랜지스터의 측정된 민감도 값은 이러한 해석과 잘 일치하고 있으며 따라서, 제작된 자기 트랜지스터는 에미터에서의 전자의 드리프트를 이용한 에미터 인젝션 모듈레이션에 의해 동작하고 있다고 할 수 있다.

컬렉터 전류의 변화에 의한 좌·우측 컬렉터 전류차는 식 (1)에서 알 수 있듯이 에미터 내에 유기되는 Hall 전압의 증가에 따라 커지게 된다. 또한 유기되는 Hall 전압은 식 (4)와 같이 에미터 내에 인가하는 수평 전압의 증가에 따라 증가한다. 그러므로 에미터 내의 수평 전압의 증가에 따른 상대적 민감도의 지속적인 증가를 기대할 수 있다. 그러나 식 (4)로 주어지는

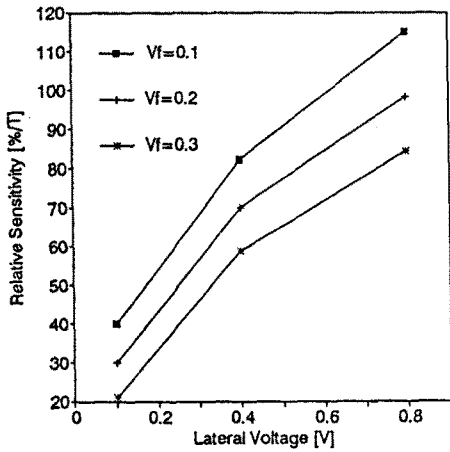


그림 4. 에미터 내의 수평 전압의 변화에 따른 상대적 민감도의 변화

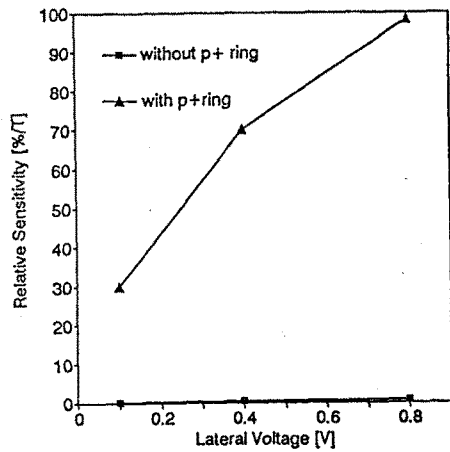


그림 5. Guard ring이 있는 구조와 없는 구조의 상대적 민감도의 비교

Hall 전압은 에미터를 하나의 독립적인 Hall 소자처럼 고려한 것이고 실제로 에미터와 베이스 간은 순방향 바이어스 되어 있으므로, 에미터를 단순히 Hall 소자처럼 생각하는 경우에 비해 훨씬 작은 Hall 전압만이 나타나게 된다. 따라서 상대적 민감도 값도 그다지 증가하지 않는다.

에미터 주위에  $p^+$  guard ring을 설계하면 에미터와 베이스 사이의 전위 장벽의 크기가 증가하여 에미터 내에 유기되는 Hall 전압의 크기를 극적으로 증가시킬 수 있다. 그림 1의 에미터 주위에 있는  $p^+$  guard ring은 이와 같은 역할을 하여, Hall 전압의 증가에 의한 민감도 향상을 위해 설계된 것이다. 실제로 그림 5에 나타난 바와 같이 동일 동작 조건하에서 guard ring이 있는 구조와 없는 구조의 측정된 민감도 값을 비교해 보면, guard ring이 있는 경우가 없는 경우에 비해 약 100 배 정도의 민감도 향상을 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 민감도의 극적인 향상은 에미터 주위의 guard ring에 의한 Hall 전압의 증가에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 분리된 전계를 갖는 자기 트랜지스터를 제작하여, 일반적인 트랜지스터의 구조에서도 에미터 인젝션 모듈레이션 효과에 의해 자기 트랜지스터가 동작할 수 있음을 보였다. 에미터와 베이스 사이의 캐리어 인젝션과 독립적으로, 에미터 내에 분리된 전계를 유지시켜 줌으로써 에미터 인젝션 모듈레이션 효과의 극대화가 가능하였다. 이때 에미터 주위의  $p^+$  guard ring은 순방향으로 바이어스 되어 있는 에미터와 베이스 사이의 전위 장벽을 증가시켜 에미터 내에 유기되는 Hall 전압의 크기를 증가시키고, 이

에 의해 상대적 민감도의 극적인 향상이 나타날 수 있었다. 측정된 상대적 민감도 값은 guard ring이 있는 경우가 없는 경우에 비해 약 100 배 가량 증가한 것으로 나타나 설계 및 해석의 타당성을 입증하였다.

#### 참고문헌

- [1] H.P.Baltes and R.S.Popovic, "Integrated Semiconductor Magnetic Field Sensors," *Proc. IEEE*, vol.74, pp.1107-1132, 1986.
- [2] A.W.Vinal and N.A.Masnari, "Magnetic Transistor Behavior Explained by Modulation of Emitter Injection, not Carrier Deflection," *IEEE Elect. Dev. Lett.*, vol.3, pp.203-205, 1982.
- [3] V.Zieren, S.Kordic and S.Middelhoek, "Comment on 'Magnetic Transistor Behavior Explained by Modulation of Emitter Injection, not Carrier Deflection'," *IEEE Elect. Dev. Lett.*, vol.3, pp.394-395, 1982.
- [4] A.Nathan, K.Maenaka, W.Allegretto, H.P.Baltes and T.Nakamura, "The Hall Effect in Integrated Magnetotransistors," *IEEE Trans. on Elect. Dev.*, vol.36, pp.108-117, 1989.
- [5] S.K.Lee, K.H.Oh, J.K.Rhee, K.J.Jhun and M.K.Han, "A Novel Magnetotransistor Based on the Drift Current in the Emitter," *Proc. 6th Int. Conf on Solid-State Sensors and Actuators*, pp.428-431, San Francisco, 1991.