

---

# Si 종형 Hall 소자의 동작과 잡음 특성

류지구\* · 김남호\*\*

## Noise and Operating Properties of Si Vertical Hall Device

Ji-Goo, Ryu\* · Nam-Ho Kim\*\*

### 요 약

본 연구는 칩 표면에 수평한 자기장을 검출하는 종형 Hall 소자를 바이폴라 기술로 제조하여 동작 및 잡음 특성을 조사하였다. P+ Isolation 댐을 설치한 소자(type B)가 설치하지 않는 소자(type A)보다 자기감도는 약 1.2배 증가하였고, 역시 잡음도 증가하였다. 측정된 이 종형 Hall 소자의 자기 검출 분해능은  $f=1[\text{KHz}]$ , 대역폭  $1[\text{Hz}]$  구동조건에서 type A는 약  $0.97[\mu\text{T}]$ , type B는  $1.25[\mu\text{T}]$ 였다. 따라서 Hall 소자 구조 설계나 재료적인 면에서 볼 때, 낮은 잡음 즉, 자기검출분해능과 높은 감도 상관관계를 고려하여야 한다.

### ABSTRACT

In this paper, the Si vertical Hall devices are fabricated by using standard bipolar process and investigated in terms of the operating and noise properties. The sensitivity of device with P+ isolation dam(type B) has been increased up to about 1.2 times compared to that device without the dam also noise has been increased. With the condition of  $f=1[\text{KHz}]$ , band-width  $1[\text{Hz}]$ , the resolution of magnetic-field detection were about  $0.97[\mu\text{T}]$ / type B and  $1.25[\mu\text{T}]$ / type A, respectively, thus we must consider correlation the low noise or good resolution and high sensitivity in the situation for device geometry design or even for the materials.

### 키워드

vertical Hall devices, noise, magnetic flux density, n+ buried layer, power spectral density

## I. 서 론

반도체 종형 Hall 소자는 Hall 효과를 이용하여 소자에 수평한 자기장의 신호를 전기적 신호로 변환하는 소자이다[1], [2]. 반도체 자기검지소자 재료로서 초기에는 Hall 이동도가 큰 III-V 족 화합물 반도체 연구가 진행되어 왔으나 근래에는 집적회로 기술의 발전으로 신호처리회로를 내장한 집적화 소자를 구현하기에 적합한 Si 재료가 주류를 이루고 있다[3]. 최근 관심은 다기능을 가

진 집적화 자기검지소자개발에 역점을 두고 있다[4]. 특히 3차원 자기장을 검출하는 소자는 일반적으로 chip에 대해서 수직인 자기장을 검출하는 횡형과 수평한 자기장을 검출하는 종형으로 구성되고 있으며, 이중 종형 Hall 소자의 감도는 횡형보다 작으므로 다기능 집적화 자기검지소자 실현에 장애가 되고 있다.

본 연구에서는 종형 Hall 소자의 감도의 증가의 한 방법인 중앙전류전극 부근에 P+ Isolation 댐을 설치한 type B와 설치하지 않은 type A를 바이폴라 기술로 제작하여

---

\* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부  
\*\* 부경대학교 전기제어공학부 (교신저자)

시작 샘플로 하였다[5]. 그리고 많은 응용에서 중요한 파라미터가 소자의 내부발생 잡음인데, 시작한 중형 Hall 소자의 동작특성과 잡음특성을 측정하여 집적화 Hall 소자에 자료가 되는 최적동작조건과 자기장 검출 분해능을 구하였다. 그리고 중형 Hall 소자의 잡음은 구동전류에 의존하고  $1/f$ 잡음이 지배적임을 보였다.

## II. 중형 Hall 소자의 제작 및 특성

그림 1은 중형 Hall 소자의 구조이다. 그림 1(a), (b)는 평면도이며, 그림 1(c), (d)는 각각 그 단면도이다.

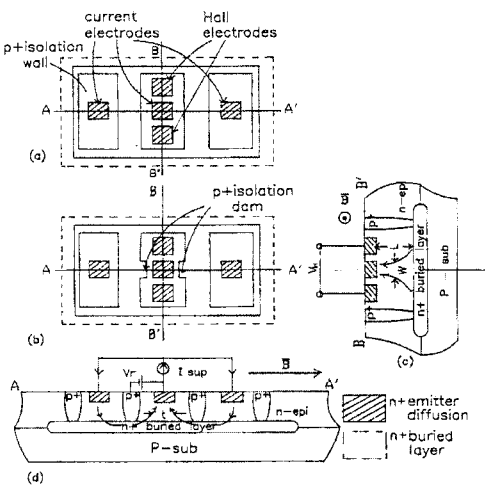


그림 1. 중형 Hall 소자의 구조  
Fig. 1. The structure of vertical Hall devices.

이 구조는 chip 표면에 수평한 자기장을 인가하면 중앙전류전극 부근의 Hall 전극에서 Hall 전압이 검출된다. 구동전류경로는 양단전류전극으로 유입된 전류가 n+ buried layer를 경유하여 n-epitaxial 층으로 들어가서 중앙전류전극으로 유출되는 구조이다.

이 때 Hall 전압을 발생하는 능동영역은 중앙전류전극 하부인데, 이 영역의 기하학적 현상에 따라 Hall 전압은 다르게 나타난다. 능동부의 전류경로길이  $L$ , 폭  $W$ , 두께  $t$ , 구동전류  $I$  그리고 Hall 계수를  $R_H$ 이라 하면, Hall 전압  $V_H$ 는 다음과 같이 표시된다[6], [7].

$$V_H = 0.74 \frac{R_H L I B}{W t} \quad [\text{V}] \quad (1)$$

이 소자의 감도를 증가시키는 방법은 식(1)에서 알 수 있듯이 길이  $L$ 을 증가시키는 방법 그리고 폭  $W$ , 두께  $t$ 를 줄이는 방법이 될 수 있다.

길이  $L$ 은 집적화 소자에서는 n-epitaxial 층의 두께가 제한되므로 향상 방안이 될 수 없으며 두께  $t$ 는 그림 1(b)와 같이 P+ isolation 댐을 중앙전류전극 부근에 설치함으로써 가능하다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 댐이 없는 경우 (type A)와 댐이 있는 경우 (type B)를 P+ isolation 실험 샘플로써 채택하였다.

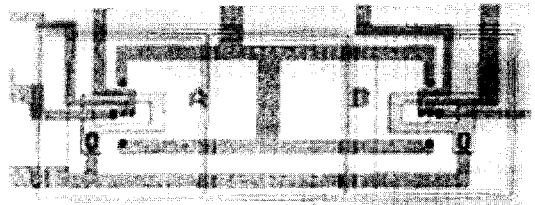


그림 2. 제작된 Hall 소자  
Fig. 2. Photomicrograph of the vertical Hall devices.

그림 2는 제작된 소자의 사진이다. 이 소자의 제조는 bipolar 기술을 이용하였으며, n-epitaxial 층의 두께 17.0 [ $\mu\text{m}$ ], 저항율은 6.0 [ $\Omega\cdot\text{cm}$ ], 전류전극 및 Hall 전극의 크기는 10 [ $\mu\text{m}$ ]x10 [ $\mu\text{m}$ ]으로 하였다

그림 3은 이 소자의 자기적 특성을 나타낸 것이다. 구동전류  $I_{sup}$ 을 파라미터로 하여 자기장  $B$ 와 구동전류  $I_{sup}$  증가에 따라 선형적으로 증가하였다. type B가 type A 보다  $V_H$ 가 크게 나타나고 있는데, 이것은 중앙전류전극 부근에 설치한 P+ isolation 댐이 전류경로 두께  $t$ 를 감소시키기 때문이다.

제작된 소자에서  $I_{sup}=1.0[\text{mA}]$  및  $B=0.1[\text{T}]$ 일 때,  $V_H$ 는 각각 6.0 [ $\text{mV}$ ]/type A, 7.2 [ $\text{mV}$ ]/type B 였다.

이 소자를 실용화 할 때는 Hall IC 형태로 직접화하여 사용되는데 기본적으로 자기장  $B$ 에 대한  $V_H$ 의 특성에서 매우 우수한 선형성이 요구된다[8], [9].

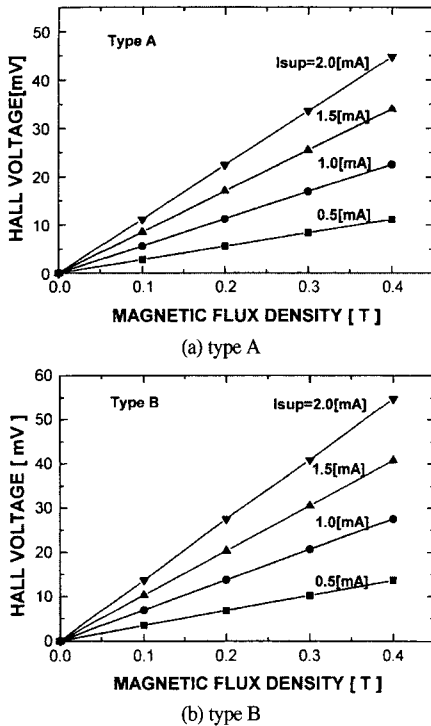


그림 3. 인가자속밀도에 대한 Hall 전압  
Fig. 3. Hall voltage vs. magnetic flux density.

그림 4는 구동전류  $I_{sup}$ 에 대한 전류상대감도  $S_I$ 를 나타낸 것이다.

감도의 표현은 소자의 구조, 원리 및 특성에 따라 적절한 표현 방법을 선정하고 객관적으로 그 소자의 성능을 나타내지 않으면 안된다. 이 소자의 경우에도 절대감도(absolute sensitivity)와 상대감도(related sensitivity)로 표현할 수 있는데, 감도와 잡음(noise)의 상관관계를 고려하여 볼 때, 구동전류  $I_{sup}$ 가 미치는 영향을 배제할 수 없으므로 전류상대감도  $S_I$ 로 표현하는 것이 타당하다고 생각된다. 일반적으로 전류상대감도  $S_I$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$S_I = \frac{1}{I} \left| \frac{\partial V_H}{\partial B} \right| \text{ [V/AT]} \quad (2)$$

식 (1), (2)에서  $S_I$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_I = 0.74 \frac{R_H L}{W t} \text{ [V/AT]} \quad (3)$$

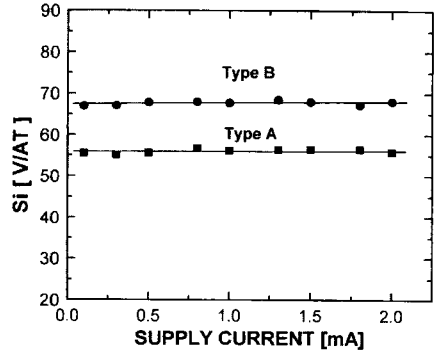


그림 4. 구동전류에 대한 전류상대감도 특성  
Fig. 4. Dependence of sensitivity on supply current.

그림 4에서 이 소자의  $S_I$ 는 구동전류에서의 의존하지 않고 일정함을 알 수 있다. 제작된 이 소자의  $S_I$ 는 각각 55[V/AT]/type A 및 67[V/AT]/type B였으며, type B가 type A보다 약 1.2배 증가한 셈이다.

### III. 중형 Hall 소자의 잡음측정

일반적으로 Hall 소자에서 발생하는 잡음은 수  $[\mu\text{V}]$  이하로 상당히 적으므로 스펙트럼 분석기로 직접 측정하는 것은 불가능한 일이다.

따라서 잡음측정회로가 필요한데, 그림 5과 같이 Hall 소자를 구동하기 위한 전원부와 잡음을 증폭하기 위한 증폭부로 구성하였으며 전원부 및 증폭부를 차폐 케이스에 내장하였다.

그림에서와 같이 Hall 소자의 구동전류는 포텐쇼메타 ( $R1, R2$ )에 의해 조절된다. 전원부는 DC 레귤레이터를 사용하는 경우, 잡음전압이 상당히 크므로 본 연구에서는 이를 감안하여 배터리를 사용하였으며 배터리에서 발생하는 잡음은 반도체 내부에서 발생하는 잡음에 비해 매우 작다. 증폭부는 이득이 500, CMRR 이 130[dB], 입력환산잡음전압이  $12[\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}]$ 인 정밀계측용 연산 증폭기를 사용하였다.

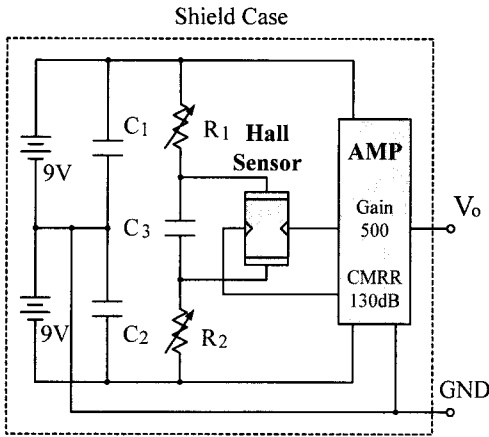


그림 5. 잡음 측정 회로  
Fig. 5. Noise measurement circuit.

먼저 Hall 소자의 구동전류를 포텐쇼메타( $R_1, R_2$ )로 설정한 후 증폭단의 출력( $V_0$ )을 스펙트럼 분석기(Advantest R9211A)의 입력에 인가하여  $1/f$  잡음, white 잡음의 power spectral density를 측정하였다. 이러한 잡음의 power spectral density를 보다 정밀하게 분석하기 위하여 Hanning Window 함수를 사용하였으며 입력 잡음을 128회 평균을 취하여 분석하였다.

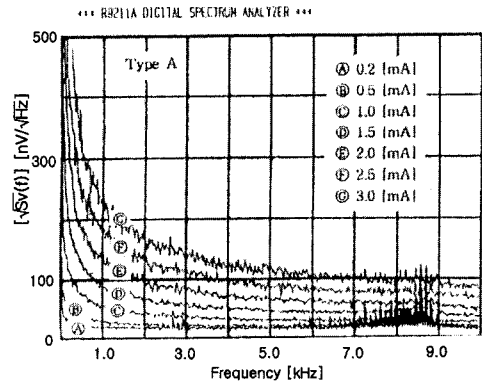
#### IV. 측정결과 및 고찰

일반적으로 Hall 소자의 잡음도 동작 및 주어진 조건에서 잡음량 제공의 평균의 주파수 스펙트럼 즉 power spectral density  $S(f)$ 로 정의할 수 있다[10]. 예를 들어 소자의 출력이 전압이면 잡음전압  $V(t)$ 는 Voltage power spectral density  $S_v(f)$  [ $V^2/Hz$ ]에 의해 특성화되고 출력이 전류이면 current power spectral density  $S_i(f)$  [ $A^2/Hz$ ]로 고려할 수 있다.

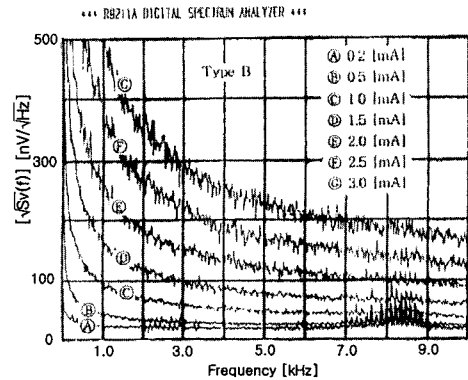
본 실험의 Hall 소자는 출력이 전압이므로  $S_v(f)$  [ $A^2/Hz$ ]에 의하여 특성화되어 잡음전압  $V(t)$ 는 제공의 평균치  $\overline{V^2(t)}$ 로 나타낼 수 있다.

$$\overline{V^2(t)} = \int S_v(f) df \quad (4)$$

그림 6은 구동전류를 파라미터로 했을 때 측정된 잡음전압 power spectral density  $S_v(f)^{1/2}$  [ $nV/\sqrt{Hz}$ ]을 나타낸 그림이다.



(a) type A



(b) type B

그림 6. 중형 Hall 소자의 잡음전력 스펙트럼 밀도  
Fig. 6. Noise power spectral density of vertical Hall devices.

그림에서 주파수가 감소함에 따라 즉 낮은 주파수 영역에서는 제한없이 잡음전압이 증가하고 있으므로  $1/f$  잡음이며, 높은 주파수 영역에서는 거의 평탄한 특성을 나타내므로 white 잡음에 해당 된다고 볼 수 있다. 그리고 공급전류의 증가에 따라 잡음전압은 증가하고 있으며, type A에 비해 type B가 크게 나타났다.

일반적으로  $1/f$  잡음은 반도체소자에서 낮은 주파수 영역에서 관측되며 지배적인 잡음 스펙트럼을 항상 구성하고 있다.

이 잡음은 캐리어 fluctuation에 의한 발생원인으로 해석되고 있다. 그림 1에서와 같이 공급전류는 p-n접합 depletion 층과의 계면을 통하여 흐르고 있으므로 depletion 층에서 캐리어의 trapping 과 detrapping 의 영향으로 캐리어의 생성-재결합 효과가 1/f 잡음의 주요한 원인이라 생각된다[10]~[13]. Type B 쪽이 그 효과가 크게 나타나는 것은 P+ isolation 맴의 설치에 의하여 전류 경로 t가 감소하여 캐리어의 trapping 과 detrapping 영향이 크게 작용한 탓이라 생각된다.

그리고 white 잡음은 구조를 흐르는 캐리어에 의한 shot noise 이며 이것은 구동전류  $I_{sup}$  에 직접 의존하는 크기로서 white 잡음의 원인이라 생각된다[10], [11].

그림 7은 주파수 1, 3, 5, 10 [KHz]를 파라미터로 했을 때, 구동전류에 대한 잡음저압 특성을 나타낸 것이다.

이 그림은 구동전류에 대한 잡음저압 영향을 구체적으로 알아보기 위하여 그림 6에서 환산한 것이다.

1/f 잡음 영향이 지배적인 1[KHz] 곡선은 구동전류의 증가에 따라 지수적으로 증가하고 있으며, type B가 type A 보다 크게 나타나고 있다.

white 잡음이 지배적인 5, 10 [KHz] 곡선은 완만한 증가를 나타내며 3[KHz]에서는 1[KHz] 고선의 중간적인 특성을 나타내었다.

그림에서 1/f 잡음은 구동전류의 크기에 지수적인 특성을 나타내며, white 잡음의 경우는 구동전류 크기에 거의 비례함을 알 수 있다.

일반적으로 센서의 잡음은 센서검출분해능을 결정하는 주요변수이므로 본 중형 Hall 소자에서도 잡음은 자기장 검출분해능을 결정하게 한다. 자기장의 검출분해능 즉 최소검출자기장  $B_n$ 은 다음 식으로 정의된다.

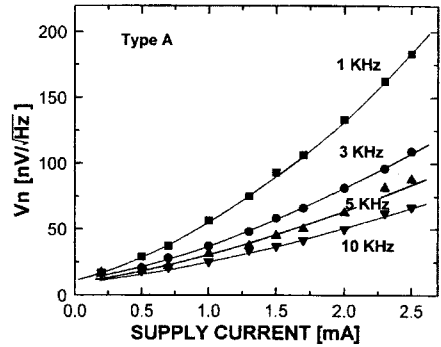
$$B_n = [S(f)\Delta f]^{1/2}/S \tag{5}$$

여기서,  $S(f)$  : power spectral density,  $S$  : absolute sensitivity,  $\Delta f$ : band-width 이 식은 주어진 주파수  $f$ 에서 좁은 대역폭  $\Delta f$ 로 동작할 때 측정할 수 있는 최소검출자기장  $B_n$ 을 나타낸다.

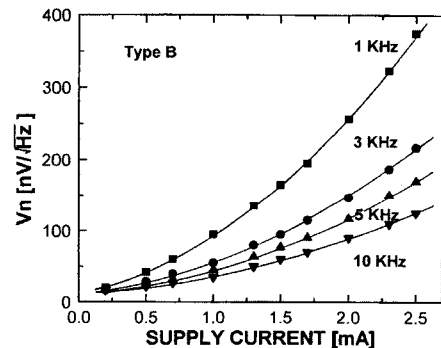
본 연구에서 중형 Hall 소자의 구동전류 변화에 의한 최소검출자기장  $B_n$ 을 조사하기 위하여 식(5)을 수정하여 (대역폭 1[Hz]인 경우)  $B_n$ 을 다음 식으로 정의하였다.

$$B_n = [S(f)\Delta f]^{1/2}/S_I \cdot I_{sup} \tag{6}$$

여기서,  $S_I[V/A \cdot T]$ : 전류상대감도,  $I_{sup}[A]$ : 구동전류이다.



(a) type A



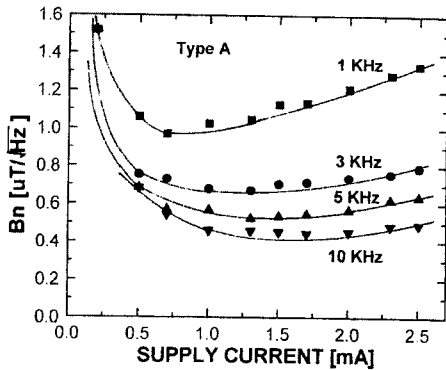
(b) type B

그림 7. 구동전류에 대한 잡음 전압 특성  
Fig. 7. Dependence of noise voltage on supply current.

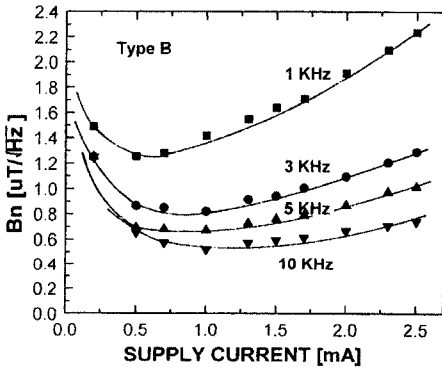
그리고 식(1), (3)에서 Hall 전압  $V_H$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_H = S_I \cdot I \cdot B \tag{7}$$

그림 8은 그림7의 잡음전압을 식 (6), (7)에 의해 전류상대감도  $S_I$ 와 구동전류  $I_{sup}$ 를 규격화하고 최소검출자기장  $B_n$ 에 환산하여 나타낸 것이다. 이 때  $V_H \rightarrow S_v v(f)$ ,  $B \rightarrow B_n$ 으로 대체하였다.



(a) type A



(b) type B

그림 8. 구동전류에 대한 최소검출자기장  $B_n$  특성  
Fig. 8. Minimum magnetic flux density on supply current.

그림에서 구동전류변화에 대하여 최소검출자기장  $B_n$ 은 0.5[mA]의 구동전류 범위에서 매우 크게 나타나고 1.0[mA] 이상의 전류범위에서는 점차 증가하는 특성을 나타내었다.

type A에서 최소  $B_n$ 을 나타내는 구동전류는  $f=1$ [KHz]에서 0.7[mA]부근이며, type B에서는 0.5[mA]부근이었다.  $f=3\sim 10$ [KHz]에서는 type A, type B 모두 1[KHz]보다  $B_n$ 는 작지만 0.5[mA]이하인 경우 높은  $B_n$ 를 나타내는 반면 0.5[mA]이상에서는 완만한 증가특성을 나타내었다.

따라서 본 연구에서 중형 Hall 소자의 자기장 검출분해능은 type A인 경우  $I_{sup} \cong 0.7$ [mA],  $f=1$ [KHz],  $B_n \cong 0.97[\mu T/\sqrt{Hz}]$ , type B인 경우  $I_{sup} \cong 0.5$ [mA],  $f=1$ [KHz],  $B_n \cong 1.25[\mu T/\sqrt{Hz}]$ 였다.

이러한 결과에서 중형 Hall 소자는  $f=1$ [KHz]에서 교류구동하여 대역폭 1[Hz]의 필터를 통한 Hall 전압을 취출하면 type A에서는 약 0.97[ $\mu T$ ], type B에서는 1.25[ $\mu T$ ]의 최소검출자기장을 검출할 수 있음을 알 수 있다. 이 값은 지자기의 약 1/20 크기에 해당된다.

따라서 Hall 소자 구조 설계시 어느 정도 잡음을 적게 하면서 감도를 높이는 방법에 주안점을 두어야 할 것이다.

## V. 결 론

칩 표면에 수평한 자기장을 검출하는 중형 Hall 소자를 바이폴라 기술로 제작하였으며, 중앙전류 전극부근에 P+ Isolation 맴을 설치하지 않은 type A와 설치한 type B 소자의 동작과 잡음 특성을 조사하였다.

자기적 감도는 type B가 type A보다 약 1.2배 정도 증가하였으며, 이들 모두 자기장에 대한 Hall 전압의 특성에서 선형성이 우수하였다.

그리고 이들 소자에서 잡음전압은 구동전류에 의존하고 1/f 잡음이 지배적임을 알 수 있었다. 잡음전압은 type B가 type A보다 크게 나타났으며 그 원인은 P+ Isolation 맴의 설치로 인한 전류경로 계면에서 캐리어의 trapping 과 detrapping 영향이 큰 탓이라 생각된다. 측정된 이 중형 Hall 소자의 자기검출분해능은  $f=1$ [KHz], 대역폭 1[Hz] 구동조건에서 type A는 약 0.97[ $\mu T$ ], type B는 1.25[ $\mu T$ ]였다.

## 참고문헌

- [1] R.S.Popovic "The vertical Hall effect device." IEEE Trans. Electron device Lett. ED-5 1984.
- [2] K.Maenaka and T.Nakamura "Integrated three dimensional magnetic sensor." Proc. IEEE Japan. Vol. 109-C No.7 1989.
- [3] S.Kordic "Integrated silicon magnetic-field sensor", Sensor and Actuators, vol. 10, pp.347~378 1986.
- [4] H.Baltos. "Fure of IC microtransducers." Sensors and Actuators A.56 1996.

[ 5 ] J.G.Ryu, S.G.choi, "Fabrication and charateri- gation of the silicon Nertical Hall Device." IIEEK. Vol. 29A No.3 1992.

[ 6 ] H.P.Baltes and R.S.Poppovic "Integrated semiconductor magnetic field sensor" Pro. IEEE vol. 74, pp.1107~1132 1986.

[ 7 ] V.N.Dobrovolskii and Yu.J.Gritsenko "Use of the Hall circuit for investigation of carrier scattering in semiconductor", Soviet physics-solid state, vol. 4, pp.2025~2031 1963.

[ 8 ] G.S.Ranfhawa "Monolithic integrated Hall devices in silicon circuits" Micro electronics J., vol. 12, pp. 24~29 1981.

[ 9 ] M.J.Thorn "A monolithic linear Hall effect integrated circuit" proc., 29th IEEE Vehicular Tech. conf. Arlington Heights, IL, USA, pp 226~229 1979.

[10] A.chovet, Ch.S.Roumenm, G.Dimopoulos and N.Mathieu, "Comparison of noise properties of different magnetic field semiconductor integrated sensor." Sensor and Actuators, A21~A23, pp 790~794 1990.

[11] A.chovet and N.Mathieu "Noise and resolution of semiconduction integrated magnetic sensors" Sensor and Actuators, A32, pp 682~687 1992.

[12] C.DMotchenbacher and F.C.Fitchen, "Low-Noise eletronic design" A wiley-Interscience publication, pp 1~358 1973.

[13] A.Nuthan and H.P.Bathes "Integrated Silicon Magneto-transistor High Sensitivity or High Resolution?" Sensor and Actuators, A21~A23, pp 790~ 95 1990.

저자소개

류 지 구(Ji-Goo Ryu)



1977년 동아대학교 전자공학과 공학사

1979년 동아대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1992년 영남대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1979년 3월~현재 부경대학교 공과대학 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

1989년 1월~1990년 1월 일본 도요하시 기술과학대학 반도체 group 객원연구원

※관심분야 반도체 센서 및 집적화

김 남 호(Nam-Ho Kim)



제11권 제1호 참조

1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 전기제어공학부 교수

※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호 복원