

논문 97-6-3-04

주파수 출력을 갖는 MAGFET Hybrid IC

김시현*, 이철우**, 남태철***

MAGFET Hybrid IC with Frequency Output

Si-hon Kim*, Cheol-woo Lee**, Tae-chul Nam***

요 약

자기센서가 전압이나 전류의 형태 그대로 출력되는 경우에 발생하는 잡음 유입 및 전압 손실 문제를 개선하기 위하여 소자부는 CMOS공정을 이용하여, 포화영역에서 동작하는 2 drain의 MAGFET을 설계·제작하고, 연산증폭기를 이용한 I-V변환회로, VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 만들고 Schmitt trigger에 의한 주파수(Pulse) 변환회로의 시스템부를 하이브리드 IC로 구성하여 packaging했다. 이 때 자기센서 절대감도는 1.9 V/T, 적감도는 3.2×10^4 V/A · T 이었으며 190 kHz/T의 안정된 출력 주파수 특성을 얻을 수 있었다.

Abstract

When voltage or current gets out of the magnetic sensor as it is, we have often faced the problems such as introduction of noise and loss of voltage. In order to reduce these problems, a 2 drain MAGFET operating in the saturation region and fabricated by CMOS process, the system of I/V converter, VCO with operational amplifier, and V/F conversion circuits with Schmitt Trigger are designed and fabricated in one package. The absolute sensitivity of magnetic sensor shows 1.9 V/T and the product sensitivity is 3.2×10^4 V/A · T. The characteristic of V/F conversion is very stabilized and has the value of 190 kHz/T.

1. 서 론

현재 자동차를 비롯한 산업자동화 시스템 각 분야에서 사용이 증가하고 있는 자기센서는 기존의 개별소자의 개념에서 벗어나 점차로 집적화, 다기능화되는 양상을 보이고 있다^{1, 2)}. 이러한 자기센서의 집적화는 사용 목적에 따라 그의 시스템을 여러 가지 형태로 구성할

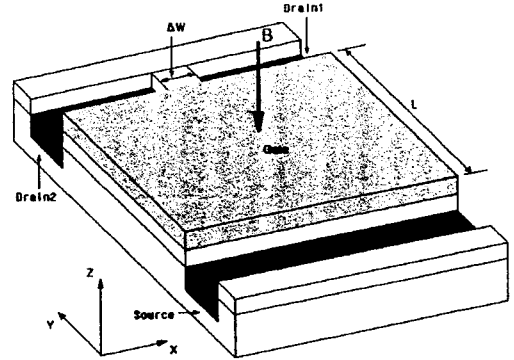
수 있지만 일반적으로는 스위칭 동작을 위한 집적화 자기센서와 선형적 출력 방식의 집적화 자기센서로 양분할 수 있다. 이들 집적화 자기센서는 사용방식에 따른 차이는 있으나 내부구성이 구동회로, 증폭회로 및 출력 안정화 회로로 이루어지는 것과 그 출력이 전압의 형태로 나타난다는 점에서는 유사한 형태를 지니고 있다. 이러한 기존의 집적화 자기센서들의 출력을 제어하고 이들 신호를 CPU 등에서 처리하기 위해서는 A/D 변환기 등을 거쳐야 하므로 결과적으로는 집적화된 자기센서에 별도의 회로가 추가되어야 하는 문제가 있다. 또한 전압의 값으로 출력되는 경우에는 전송선의 길이에 따른 손실이 발생하며 외부잡음 유입 문제도 발생하게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 MAGFET을 장검출부로 사

* 영진전문대학 사무자동화과 (Department of Office Automation, Yeungjin Junior College)

** 한국전자주식회사 종합연구소 반도체연구센터 (Semiconductor R & D Center, Korea Electronics Co., LTD.)

*** 영남대학교 전기전자공학부 (School of Electrical and Electronic Eng., Yeungnam University)
<접수일자 : 1997년 4월 22일>

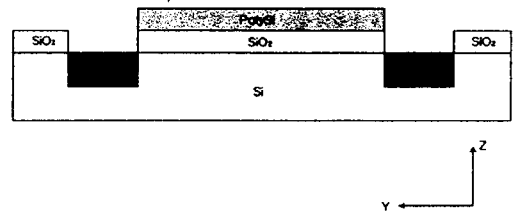
용하여 자장을 검출하도록 하고 구동회로, 증폭회로, 출력안정화 회로 및 출력전압에 비례하는 주파수 출력을 얻기 위한 VCO(Voltage Controlled Oscillator)로 구성되어진 집적화 자기센서를 하이브리드 IC로 제작하여 특성을 측정하였다. 이 방식에서는 자장 검출신호가 출력전압에 비례하는 주파수의 펄스로 바뀌어 외부로 전송되므로 CPU의 직렬 입력 port에 바로 신호를 입력할 수 있으며, 외부잡음의 영향도 상대적으로 감소시켜 S/N비가 개선되는 효과를 얻을 수 있다. 이러한 구조의 집적화 센서를 구현하기 위하여 CMOS 공정을 이용한 MAGFET을 설계·제작하고 주변회로부를 하이브리드 IC로 구성하여 하나의 package로 구성하였다.



(a) MAGFET Structure

II. CMOS 공정을 이용한 MAGFET의 제작

일반적으로 반도체내의 벌크에서 캐리어 편향에 의한 효과를 이용하는 Hall 소자에 비해 MAGFET은 MOSFET에서 유도성 채널의 전자 운동을 이용한다. MAGFET은 기존의 MOSFET 구조를 약간 변형한 것으로서 드레인을 2개로 분리하여 자장에 의한 캐리어의 편향에 의하여 전류량이 차이가 나는 것을 이용하여 자장을 검출하게 된다. 이 때 두 드레인의 전류차는 인가한 자계에 비례하여 나타난다. 그림 1에 MAGFET의 기본적인 구조를 나타내었다.



(b) Cross section of MAGFET

제작된 MAGFET은 n-채널을 사용하고 포화영역에서 동작하도록 하였으며, 선형동작 영역에서 MAGFET의 채널은 보편적인 Hall 소자와 등가적으로 나타난다. 단지 둘 사이의 차이는 Hall 소자인 경우에 소자의 재료에 따라 전하 캐리어가 제공되지만 MAGFET인 경우에는 채널 두께가 매우 얇으며 전하 캐리어가 표면 전계효과에 의하여 공급된다는 점이다. 일반적으로 Hall 소자의 출력전압은

$$V_H = G \frac{r_H}{qnt} IB_{\perp} \quad (1)$$

이다. 여기서 G는 형상 보정 성분이고 r_H 는 Hall 보정인자, qnt는 단위면적당 이동할 수 있는 전하량이다. 이 식에서 qnt를 Q_{ch} 로, I를 I_D 로 바꾸어 쓰면 MAGFET의 Hall 전압은

$$V_H = G \frac{r_H}{Q_{ch}} I_D B_{\perp} \quad (2)$$

그림 1. MAGFET의 구조.
Fig. 1. MAGFET structure

이다. 이러한 선형영역에서 MAGFET의 출력 값은 일반적으로 Hall 소자의 출력 전압과 등가적으로 동일하다.

MAGFET의 자기적인 성질은 두 개의 드레인 전류 차이에 의해 검출되므로 차전류 구동방식인 경우에는 단락회로 효과(Short-circuit effect)^[3]의 영향을 받는 선형영역보다 포화영역에서 더 높은 감도와 안정된 동작특성을 얻을 수 있게 된다^[4]. 이 때 자장이 없는 경우에 그림 1에서 드레인 1의 전류는

$$I_{d1} = v_{sat} \frac{W}{2} C_{ox} (V_g - V_t - V_{dsat}) \quad (3)$$

으로 나타난다. 자장을 인가하는 경우에는 로렌츠 힘에 의하여 영향을 받은 드레인 1의 전류는

$$I_{d1}' = v_{sat} \frac{W}{2} C_{ox} (V_g - V_t - V_{dsat}') \quad (4)$$

으로 나타나게 되고 여기서 V_{dsat}' 은

$$V_{dsat}' = V_{dsat} - V_{hsat} \quad (5)$$

이다. 결과적으로 드레인 1의 전류는

$$I_{d1}' = v_{sat} \frac{W}{2} C_{ox} (V_g - V_t - V_{dsat}) + v_{sat} \frac{W}{2} C_{ox} V_{hsat} \quad (6)$$

로 표시된다. 이 때 첫번째 항은 무자계시의 드레인 전류를 나타내며 두번째 항은 자계에 의해 추가된 항이며 두 개의 드레인에서 발생하는 차전류에 의한 상대 감도는

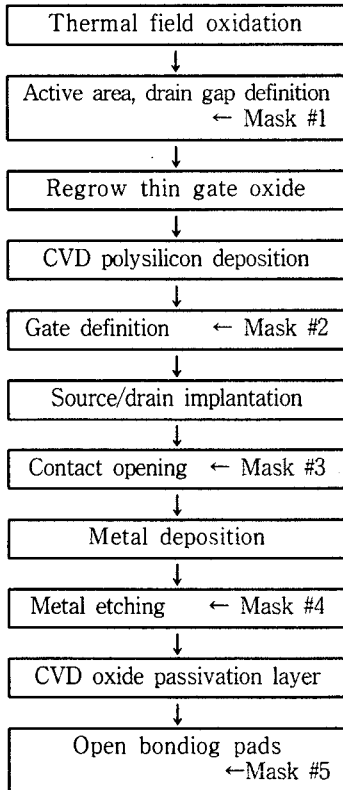


그림 2. MAGFET 제작 공정 순서도.
Fig. 2. Block diagram of fabrication process for the MAGFET.

$$S = \Delta I_d / (I_d B) \quad (7)$$

로 정의된다.

이상의 동작특성을 지니는 MAGFET을 CMOS 공정을 이용하여 제작하였다. 사용된 웨이퍼는 비저항이 10 - 20 Ωcm인 P-type(100)를 사용하였으며 게이트 산화층은 500 Å, 필드 산화층은 8,000 Å으로 성장시켰고, 게이트의 Poly-Si은 LPCVD장치를 사용하여 620 °C, 0.3 torr에서 10분간 4,000 Å으로 증착하였으며 제작된 소자의 활성 영역 크기는 100 x 100 μm² 이며

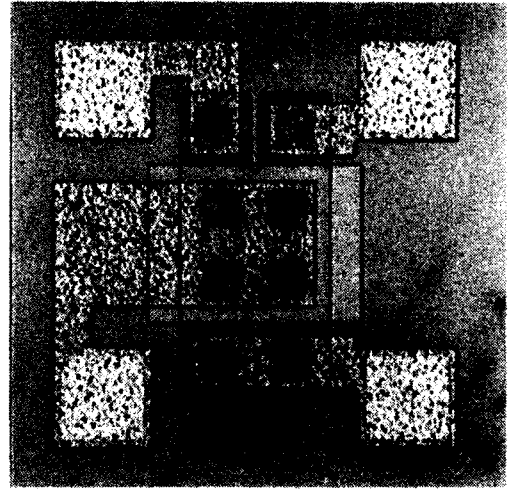


그림 3. MAGFET의 사진.
Fig. 3. The micro-photograph of MAGFET.

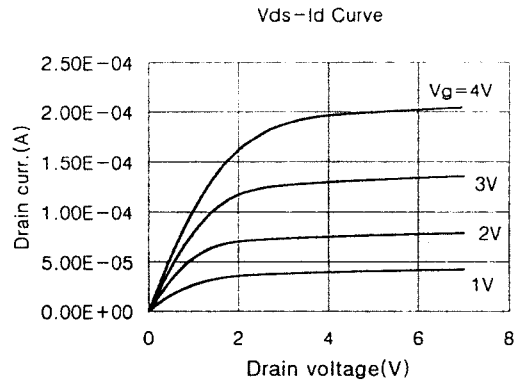


그림 4. MAGFET의 I-V특성 곡선.
Fig. 4. I-V Characteristic curve of the MAGFET.

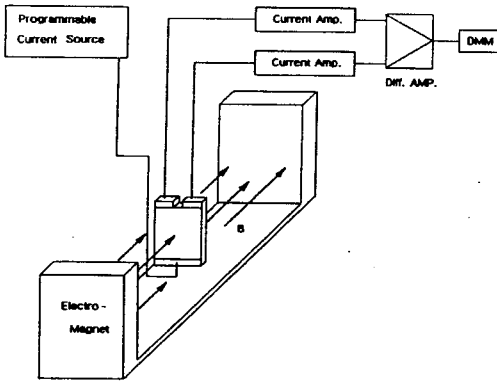


그림 5. 실험 측정 장비의 개략도.
Fig. 5. Block diagram of test equipments.

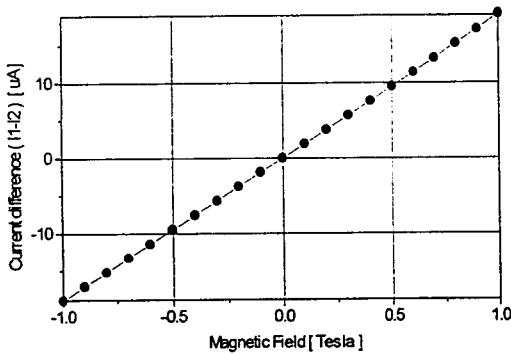


그림 6. 자장변화에 따른 두 드레인 사이의 전류차.
Fig. 6. Current difference between two drains according to variations of the magnetic field.

드레인 사이의 간격은 5 μm로 하였다. 본 연구에서 제작된 MAGFET의 제작공정을 그림 2에 나타내었고, 제작된 소자의 사진과 HP4145 probe station을 이용하여 측정된 I-V특성을 그림 3과 그림 4에 각각 나타내었다.

제작된 MAGFET은 포화영역을 이용하여 구동시키고 자장에 대한 출력특성을 측정하였다. 그림 5에 제작된 MAGFET 실험장치의 개략도를 나타내었다. 제작된 MAGFET의 상대감도는 3.2 %/T이었다. 그림 6은 인가 자장의 변화에 따른 드레인 간 차전류에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다.

III. 주파수 출력방식 하이브리드 IC 제작

이상에서 제작된 MAGFET은 자장에 따른 출력이 전류의 차이가 되는 특성을 가지며^[5,6], 이러한 출력전류는 적절한 변환을 통해 전압의 값으로 바꾸어 주어야 신호처리가 가능해진다. 이를 위해 MAGFET의 출력전류를 전압으로 변환하고 이를 차동증폭하여 검출 신호를 단일 전압으로 변환한다. 그림 7에 전류 변환과 차동증폭 회로를 나타내었다.

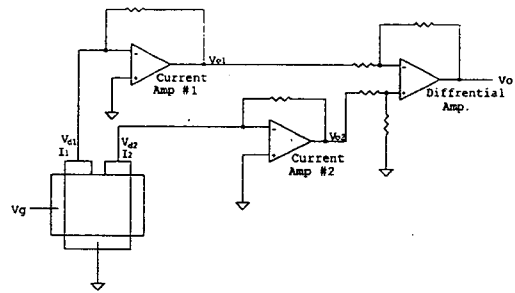


그림 7. I/V 변환기와 차동증폭기의 회로도.
Fig. 7. Circuit diagram of I/V converter and diff. amp.

이 때 각각의 전류의 값은

$$I_1 = \frac{(V_{d1} - V_{d1})}{R} \tag{8}$$

$$I_2 = \frac{(V_{d2} - V_{d2})}{R}$$

로 나타난다. 차동증폭기의 증폭도는 100배로 하였다. 이 경우에 총 공급전류를 590 μA로 하였을 때, 절대감도는 1.9 V/T로 나타났으며 적감도는 3.2 × 10⁴ V/A · T로 나타났다. 이는 MOS형 Hall 소자(~ 0.7 V/T, 수 10³ V/A · T)에 비해서 더 큰 출력과 높은 감도특성을 가지며, Magnetotransistor(인가자장 <~ 0.1T> 범위에서 최대 약 30 V/T)보다는 출력이 낮지만 인가할 수 있는 자장 범위(~1T)가 넓고 저 소비전력, 고출력 임피던스 특성을 가지고 있으므로 범용 자기센서 제작을 목표로 하는 본 연구에서는 MAGFET을 채택하여 시스템을 구성하였다^[3,7].

이렇게 검출된 전압출력을 CPU 등에 입력시켜 신호 처리를 하기 위해서는 A/D변환기 등을 사용하여야 하는데 본 연구에서는 출력전압을 VCO를 사용하여 출력 전압에 비례하는 주파수의 값으로 변화시킨 후 Schmitt trigger 회로를 거쳐 구형파로 만들어 외부로 출력하였다. 이는 CPU의 직렬 port에 바로 입력시킬 수 있으며, 외부의 잡음유입 및 전송거리에 따른 전압 강하의 문제점을 개선하였다. 그림 8에 VCO 및 Schmitt trigger 회로를 나타내었다.

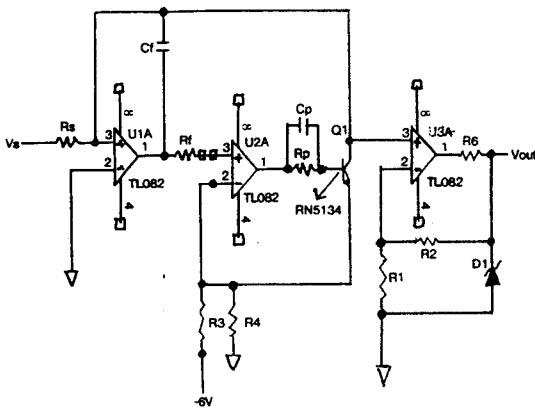


그림 8. VCO와 Schmitt trigger의 회로도.

Fig. 8. Circuit diagram of VCO and Schmitt trigger.

VCO에서 출력주파수는 입력전압에 비례하여 나타나는데 그림 8의 회로에서는

$$V_o = -\frac{C_p}{C_f} V_s \quad (9)$$

로 나타나며, 출력주파수는

$$f = \frac{1}{T} = \frac{I_s}{V_o C_f} = \frac{1}{V_o} \cdot \frac{V_s}{R_s} \cdot \frac{1}{C_f} \quad (10)$$

로 나타나게 된다. 또한 Schmitt trigger 회로에서 UTP(Upper Trigger Point) 및 LTP (Lower Trigger Point) 는

$$UTP = V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$LTP = -V_D \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (11)$$

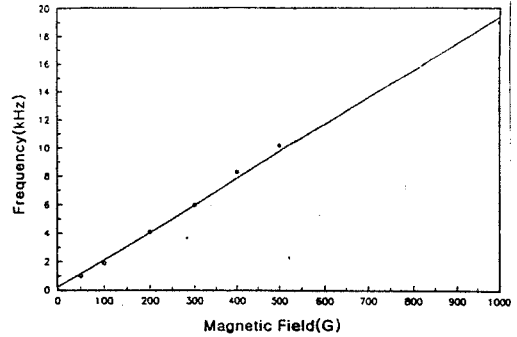


그림 9. 입력 자장에 대한 출력 주파수의 특성.

Fig. 9. Characteristics of output frequency vs. input magnetic field.

로 나타나게 된다^[8]. 여기서 V_D 는 제너다이오드의 순방향전압을 나타낸다. 이 회로를 이용한 자장 변화에 대한 출력주파수의 변화에 대한 동작특성을 그림 9에 나타내었다.

이 경우에 자장 변화에 대한 출력 주파수 변화량은 190 kHz/T로 나타났다. 또한 이렇게 발생한 주파수의 파형을 안정시키기 위하여 사용한 Schmitt trigger는 UTP를 50 mV, LTP를 -6 mV로 정하여 VCO 출력에 나타나는 잡음을 최소화하였다.

또한 소자 구동부 및 주파수 출력회로부는 알루미늄 기판 위에 하이브리드 IC로 제작하고 MAGFET을 내장하여 외부에서 전원만 인가하면 자장에 따른 출력 주파수가 발생하도록 하나의 IC로 구성하여 소형화하고, 연결부위의 전선을 없애고 패턴의 길이를 최소화함으로써 잡음유입을 억제하여 신뢰성을 향상시켰다.

IV. 결 론

본 연구에서는 CMOS 공정을 이용한 MAGFET을 제작하고, 이를 구동시켜 자장 검출 출력에 비례하는 주파수의 값을 만들어 주기 위한 회로부를 하이브리드 IC로 구성하여 하나의 package에 넣어 주파수 출력형 MAGFET 하이브리드 IC를 제작하였다. 이러한 주파수 출력 방식의 자기센서는 검출한 자장의 값을 신호처리 및 제어가 편리한 주파수의 값으로 변환하여 출력할 수 있으며 자동차용 및 산업용 등의 내환경성, 내잡음성 및 신뢰성이 요구되는 응용분야에 적용될 수 있다. 제작된 MAGFET의 절대감도는 1.9 V/T로 나타났으며 적감도

는 3.2×10^4 V/A · T이었으며, MAGFET Hybrid IC의 출력특성은 190 kHz/T를 나타내었다.

V. 참고 문헌

[1] J. H. Huijsing, "Integrated Smart Sensors", Sensors and Actuators, A30, pp.167-174, 1992.
 [2] T. Nakamura, K. Maenaka, "Integrated Magnetic Sensors", Sensors and Actuators, A21-A23, pp. 762-769, 1990.
 [3] R. S. Popovic, "A MOS Hall Devices free from Short-circuit Effrect", Sensors and Actuators, pp. 253-262, 1984.
 [4] R. C. Gallagher, W. S. Corak, "A Metal-Oxide-Semiconductor (MOS) Hall Element", Solid-State. Electronics, vol. 9, pp. 571-580, 1966.
 [5] R. S. Popovic, "Numerical Analysis of MOS Magnetic Field Sensors", Solid State Electronics", vol. 28, No. 7, pp. 711-716, 1985.
 [6] R. S. Hemmert, "Invariance of the Hall Effect MOSFET to Gate Geometry", Solid State Electronics, vol. 17, pp. 1039-1043, 1974.
 [7] N. Smimov, N Nedev, "Lateral Magnetotransistor with Enhanced Emitter Injection Modulation", Sensors and Actuators, A. 35, pp. 113-119, 1992.
 [8] 岡村油夫, "OP앰프회로의設計", CQ出版社, pp. 335-339, 1990.

著 者 紹 介



김시현 (金是憲)
 1947년 9월 1일생, 1969년 2월 영남대학교 전기공학과 학사, 1969년 2월~1978년 2월 한국전력 영남화력발전소, 1980년 2월 영남대학교 전자공학과 석사, 1978년 3월~현재 영진전문대학 사무자동화과 교수, 주관심 분야 : 자기센서, 정보통신

남태철 (南泰喆)

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-02, p.21 참조, 현재 영남대학교 전기전자공학부 교수



이철우 (李哲宇)
 1972년 5월 23일생, 1995년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(학사), 1996년 10월 1일~현재 한국전자(주) 종합연구소 연구원, 1997년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(석사), 주관심분야 : 센서 및 집적

회로 설계