

論文 90-27-12-11

드레인 分離型 磁氣感知器의 製造 및 特性

(Fabrication of the Split Drain Type Magnetic Sensitive MOSFETs and Its Properties)

崔 昌 河*, 李 宇 一**

(Chang Ha Choi and Wu Il Lee)

要 約

2 μ m CMOS製造技術을 이용하여 기존의 磁氣感知器보다 高感度の n채널 드레인분리형 磁氣感知器를 製造하고 素子の 縱橫比에 따른 電磁氣的인 特性을 測定하였다. 本 실험에서 製造된 2중 드레인 磁氣感知素子の 出力電壓은 10kG의 磁場과 10 μ A의 드레인電流에서 160mV이고 磁氣感度は 1.6 \times 10³ V/A kG이다. 기존의 2중 드레인 磁氣感知素子보다 磁氣感度を 높이기 위한 方法으로 하나의 드레인을 더 追加한 3개의 드레인 構造인 3중 드레인素子를 製造하였다. 3중 드레인소자의 경우 2중 드레인보다 훨씬 높은 값인 2 \times 10³ V/A·kG의 感度を 얻었다. 또한 磁場에 대한 出力電壓의 直線性이 우수하고 低磁場영역에서도 良好한 感度特性을 나타낸다.

Abstract

The electromagnetic properties of p- and n-channel split drain magnetic sensitive MOSFET fabricated using 2 μ m design rules and CMOS process technology has been investigated. The achieved output voltage in the double drain MOSFET was 160 mV at 10 μ A drain current and magnetic flux density of 10kG, and the sensitivity was 1.6 \times 10³ V/A·kG. A further higher sensitivity was obtained by introducing a third drain in the split region. In this case, the triple drain MOSFET showed a much higher sensitivity of 2 \times 10³ V/A·kG under the same condition. Also, the linearity of output voltage vs. magnetic flux density was excellent.

I. 序 論

電子産業의 급속한 發展과 더불어 物理, 化學的인 變化量을 電氣的 信號로 變換하는 각종 半導體感知

器에 대한 研究가 活潑히 進行되고 있다. 그 중에서도 半導體磁氣感知器는 外부의 汚染이나 雜音에 의한 영향이 적고 수명이 永久的이다. 磁氣感知器는 半導體內에서의 磁電變換效果를 이용하여 感知된 磁氣場을 전기적 信號로 變換하는 素子이며 磁氣抵抗效果^[1]와 Hall효과^[2]가 그 主役을 담당한다. 이 두 效果는 오래전부터 固體內의 캐리어密度와 그 移動度の 測定이나 에너지 帶 구조에 관한 情報^[3]를 얻기 위해 活用되어 왔으나 1948년 Pearson^[4]에 의해 게르마늄

*正會員, 國防品質管理所
(Defence Quality Assurance Agency)

**正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)
接受日字: 1990年 10月 5日

을 이용한 磁氣場測定裝置가 보고되어 磁氣感知器로서의 응용에 관해서도 研究되었다. 1950년대 후반부터 集積回路製造工程에 planar기술이 導入되고, 실리콘 I.C. 製造技術의 발전으로 磁電變換素子도 磁氣感知部分을 실리콘 웨이퍼에 集積할 수 있는 研究가 進行되어 왔다. MOS構造의 磁氣感知器는 1966년 Gallagher와 Corak^[5]에 의해 처음으로 보고되었으나 당시의 製造技術로는 磁氣感도가 낮았다. 그 후 磁氣感도를 높일 수 있는 增幅回路도 동일 基板 위에 製造可能한 技術이 발전되어 주로 바이폴라 형태로 開發되었다.^[6]

그러나 최근의 傾向으로는 제작이 간단하고 低電力消耗用인 MOS구조로 개발이 進行되고 있다. MOS構造의 磁氣感知器도 MOSFET의 반전층兩端에 Hall전압검출을 위한 Hall電極을 갖는 形態^[7]와 반전층內에서의 磁氣抵抗效果에 의한 傳導度의 차이를 電流의 변화로 검출하는 드레인分離型(split drain)方式^[8]으로 大別된다. 드레인分離型 磁氣感知 MOSFET는 드레인을 分離(split)하여 이들 드레인사이의 電流差異를 검출하는 多端子 구조의 素子이다. 드레인分離型素子는 Fry^[8]에 의해 報告된 이래 Popovic^[9] 및 Baltes등^[10]에 의해 반전층內에서의 電荷密度 및 電位分布의 해석 등 이론적인 研究가 進行되어 集積化 磁氣感知器로 有望하다고 보고되었다. 현재까지 보고된 드레인分離型 磁氣感知 MOSFET는 Popovic^[11]에 의해 n 및 p 채널 자기감지 MOSFET를 결합하여 製造된 素子の 感도가 가장 높다. 本 研究에서는 2 μ m 設計技術을 이용하여 게이트의 縱橫比(aspect ratio:W/L)가 1, 2 및 3인 多結晶 실리콘 게이트 p 및 n 채널의 2중 드레인(double drain) 磁氣感知 MOSFET를 제조하였다. 또한 3개의 드레인으로 分離한 소자인 3중 드레인(triple drain) 磁氣感知 MOSFET도 製造하고 MOS特性 및 電磁氣的인 特性을 測定하여 좋은 感도와 우수한 直線性을 갖는 磁氣感知素子를 얻었다.

II. 素子の 構造 및 動作

그림 1은 3중 드레인分離型 MOSFET의 構造를 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 전체 構造를 나타낸 것이며 (b)는 이것을 위에서 본 것이다. 그림에서 L과 W는 각각 게이트의 길이와 폭이고, D는 드레인 사이의 間隔이다. 드레인 분리형 磁氣感知 MOSFET도 일반적인 MOSFET와 구조적으로 거의 동일하므로 동작도 유사하다. 다만 그림에서와 같이 드레인을 두개 또는 세개로 분리한 MOSFET형태로 製造하여

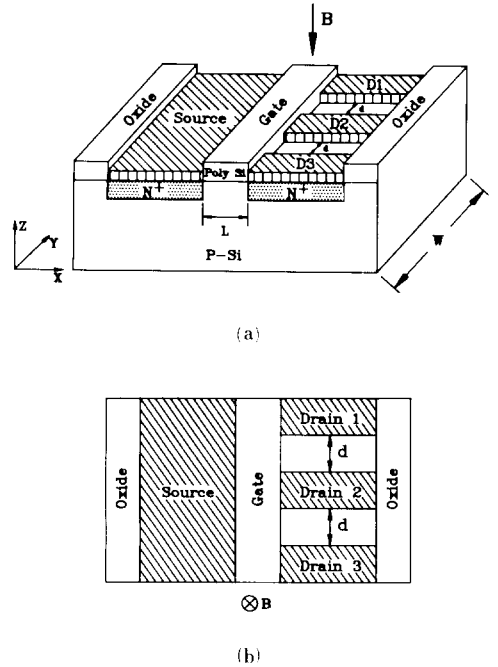


그림 1. 드레인분리형 자기감지 MOSFET의 구조
 (a) 3중 드레인 구조
 (b) 위에서 본 그림
 Fig. 1. Structure of the split drain magnetic sensitive MOSFET.
 (a) triple drain structure, (b) top view.

電流를 흘릴 수 있도록 한 구조이다. 本 실험에서 게이트물질로서는 多結晶실리콘을 사용하였다. 그리고 일반적인 MOSFET 動作의 경우와 마찬가지로 그림 1(b)의 3개의 드레인에 各 驅動電壓을 加하고 소오스를 접지하여 동작시켰다. 게이트는 反傳層을 유지하여 磁場에 의한 磁電變換效果가 발생토록 1-2V 범위의 電壓을 인가하였다.

한편, 그림 1(b)에서 드레인D2가 없는 2중 드레인素子에서는 磁場이 없을 경우 드레인 D1과 D3에 흐르는 電流는 동일하여 電流의 差異가 발생되지 않는다. 만일 게이트 면에 수직으로 磁場이 가해질 경우 Lorentz 힘에 의해 게이트 반전층의 캐리어 密度分布가 變化되어 D1과 D3에 흐르는 電流에 差異가 발생된다. 이 電流差를 測定하면 磁場의 變化를 알 수 있고 電流差가 클수록 磁氣感知器로서의 特性이 우수하다. 電流變化를 크게 하기 위한 방법으로 반전층에서의 캐리어 密度分布의 差異를 크게 하면 채널 전도도의 差異가 크게 된다.

本 논문에서는 電流變化를 크게 하기 위한 방법으

로 그림 1 과 같이 2중 드레인素子에 하나의 드레인 D2를 더 추가하여 3개의 드레인으로 電流를 흘릴수 있는 구조를 考案하였다. 이 3중 드레인 구조의 磁氣感知器에 磁場이 인가되면 추가된 드레인D2에 의해 드레인 D1 및 D3 채널에서의 캐리어 密度分布의 差異는 2중 드레인소자에 비해 實效적으로 크게 된다. 따라서 2중 드레인소자보다 더 많은 電流의 差異가 발생되어 磁氣感知器로서 더 우수한 特性을 나타내게 된다.

III. 實 驗

1. 마스크의 設計

本 研究에서는 素子의 크기를 가급적 작게 하기위하여 $2\mu\text{m}$ 設計技術을 이용하였다. 素子의 크기는 채널의 길이 L 을 2중 드레인에서는 $10\mu\text{m}$ 으로, 3중의 경우에는 $15\mu\text{m}$ 로 각각 固定하고 채널의 폭 W 만 變化시켜 縱橫比 (aspect ratio: W/L)가 1, 2 및 3이 되도록 설계했다. 그리고 드레인의 間隔 D 는 $3\mu\text{m}$ 이다. 마스크로는 4인치 CMOS 폴리 실리콘 製造技術을 이용하기 위해 5인치의 크롬 마스크를 사용하였다. 폴리실리콘 게이트 CMOS MOSFET 製作 工程에 필요한 마스크는 n-well 마스크, 소오스와 드레인領域을 위한 S/D 마스크, 素子간의 隔離을 위한 필드이온주입마스크, 多結晶실리콘 蝕刻用폴리마스크, N^+ 마스크, P마스크, 金屬接觸을 위한 점촉 마스크, 金屬 마스크와 패드마스크 등 9 장이다.

2. MOSFET의 製造

分離型드레인 磁氣感知 MOSFET의 製造에는 그림 2에서와 같이 CMOS 多結晶 실리콘 게이트 기술을 利用하였다. 素子의 製造에 使用된 웨이퍼는 4인치 P형 單結晶실리콘이며 結晶面은 (100), 비저항은 $25\Omega\text{cm}$, 에피층의 두께는 $12.5\mu\text{m}$ 이다. 먼저 웨이퍼를 세척한 다음, $2,800\text{Å}$ 의 SiO_2 층을 成長시키고 n-well 마스크로 窓을 열고 650Å 두께로 이온주입산화막을 形成하였다. 그리고 50keV 의 에너지로 인듐 이온을 加速시켜 $2.0 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 의 量을 注入한 後 n-well을 drive-in 하고 $1,500\text{Å}$ 의 窒化膜을 증착했다. S/D 마스크로 소오스와 드레인 窓을 열고 필드이온주입 마스크로 硼素를 20keV 의 에너지로 $3 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 의 量으로 필드이온을 注入한 다음 필드酸化膜을 成長시켰다. Punch through 마스크로 硼素이온을 75keV 의 에너지로 $1 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 의 量을 이온注入하고, 문턱電壓 調整을 위해 硼素이온을 이온 주입했다. 그리고, 게이트를 산화한 후 $3,450\text{Å}$ 의 두께로 多結晶실리콘을 증착하였다. 다음 폴리실리콘酸化膜을 蝕刻하고 폴

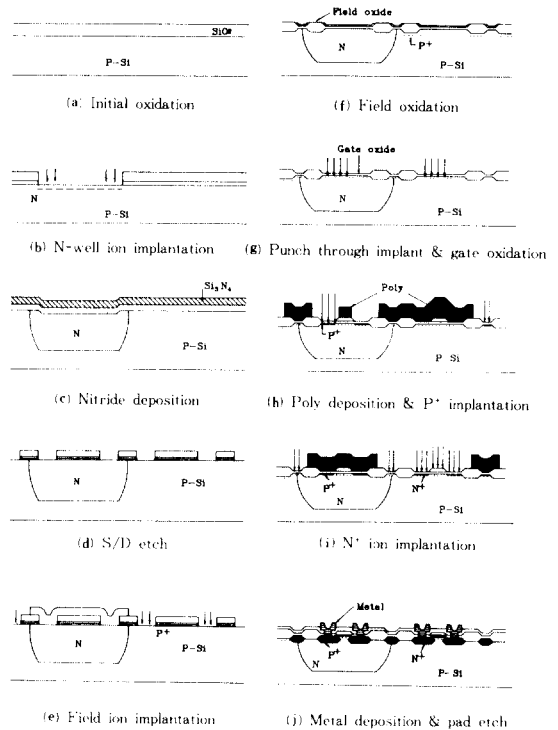


그림 2. 자기감지 MOSFET의 웨이퍼 제조공정
Fig. 2. Sequence of wafer process for the magnetic sensitive MOSFET.

리마스크로 多結晶실리콘을 플라즈마 에칭한 뒤 N^+ 마스크로 N^+ 窓을 열고 40keV 의 에너지로 砒素 이온을 加速시켜 $6 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 의 量을 이온注入하고 drive in한 다음 P마스크로 窓을 열어 BF_2 이온을 80keV 의 에너지로 $3 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 의 量을 이온注入하였다. 金屬接觸을 爲해 接觸面을 플라즈마 蝕刻하고 알루미늄을 8000Å 의 두께로 蒸着하고, 金屬마스크로 金屬을 蝕刻하여 passivation한 後 패드 蝕刻 및 어닐링 했다.

그림 3은 本 實驗에서 製造된 대표적인 3중 드레인 분리형 磁氣感知 MOSFET를 400배로 확대한 현미경사진이다. 素子의 크기는 게이트면적 ($W \times L$)이 $15 \times 15\mu\text{m}^2$ 이고 각 드레인들 사이의 間隔은 $3\mu\text{m}$ 이다.

IV. 測 定

1. MOS 特性 測定

本 實驗에서 製造된 磁氣感知 MOSFET의 特性은 HP 4145 MOS 特性測定機를 이용하여 電流 - 電壓

V. 結果 및 考察

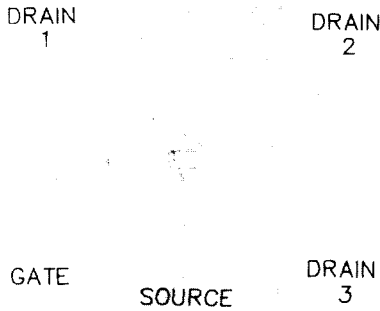


그림 3. 3중 드레인 자기감지 MOSFET의 현미경 사진
 Fig. 3. Microphotograph of the triple drain magnetic sensitive MOSFET.

특성곡선과 문턱電壓 등 일반적인 特性을 測定하였다.

2. 磁氣的 特性의 測定

3중 드레인소자의 磁氣的인 特性은 그림 4의 回路構成으로 測定하였다. 그림의 回路에서 드레인 電壓은 6Vdc, 出力電壓 檢出을 爲한 抵抗 R은 500k Ω , 1/4W를 사용하였다. 한편 2중 드레인素子の 特性을 조사하기 위한 경우의 測定回路는 그림4에서 점선으로 표시한 드레인 D2가 없는 回路로서, D1과 D3의 양단에서 特性을 測定하였다.

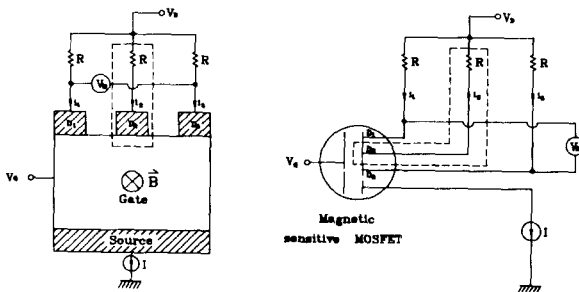


그림 4. 드레인분리형 자기감지 MOSFET의 특성측정회로
 Fig. 4. Measurement circuits of the split magnetic sensitive MOSFET.

1. MOS 特性

(1) 電流-電壓 特性曲線

그림 5는 素子の 게이트의 길이 L과 幅 W가 각각 15 μm 이고, 드레인의 間隔과 드레인의 幅이 각각 3 μm 인 3중 드레인분리형 磁氣感知 MOSFET의 電流-電壓 特性曲線이다. 測定된 電流-電壓 特性曲線에서 드레인 電流는 一般的인 MOSFET와 같은 경향을 나타내고 있다.

(2) 문턱 電壓(threshold voltage)

그림 6은 n-채널 素子の 문턱電壓을 측정한 결과이다. 측정된 문턱電壓은 약 0.96V이다.

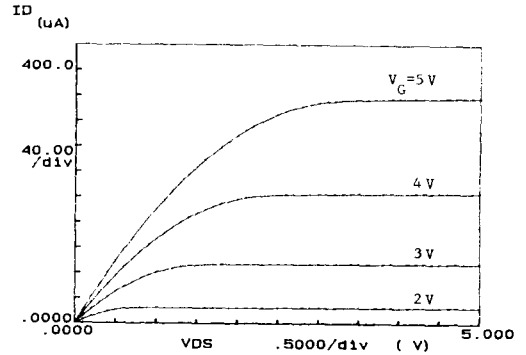


그림 5. 전류-전압 특성곡선
 Fig. 5. I_D - V_{DS} characteristic curve.

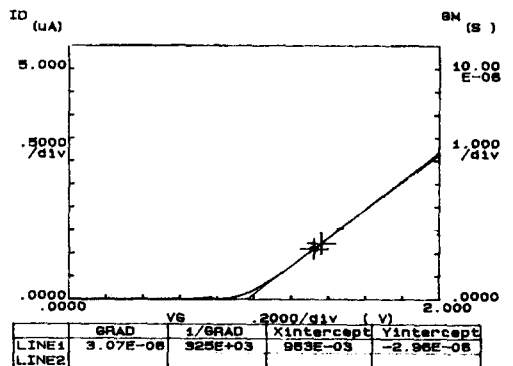


그림 6. 문턱전압
 Fig. 6. Threshold voltage.

2. 磁氣의 特性

(1) 出力電壓

그림 7은 드레인의 間隔 D가 3 μ m이고, 게이트면적이 10 \times 10 μ m²인 2중 드레인(DD)素子와 게이트면적이 15 \times 15 μ m²인 3중 드레인(TD)素子의 磁場에 대한 出力電壓을 그림 4(b)의 回路를 이용하여 縱橫比를 變數로 측정한 結果를 比較한 것이다.

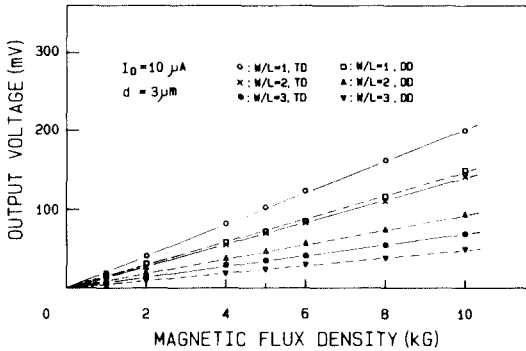


그림 7. 소자의 縱橫比에 따른 출력전압
Fig. 7. Output voltage vs. magnetic flux densities as a function of aspect ratio.

그림에서 出力電壓은 磁場變化에 대해 직선적으로 증가하고, 素子의 縱橫比에 依存하고 있음을 보여주고 있다. 즉 素子의 縱橫比가 작을수록 出力電壓이 증가하고 클수록 出力電壓은 감소한다. 또한 그림 7을 比較해 보면 3중 드레인素子의 出力電壓이 2중 드레인素子의 그것에 비해 약 1.5배 높다는 것을 알 수 있다. 이는 素子의 縱橫比가 작을수록 일반적인 磁氣抵抗素子의 경우와 같이 磁場에 의한 電流密度의 변화가 크게 되어 出力電壓의 변화가 크기 때문이다.¹¹⁾ 또 기존의 2중 드레인素子에 드레인 D2를 더 추가하면 이 추가된 드레인전류의 成分도 磁場에 의한 出力電壓의 증가에 기여하게 된다. 본 실험의 素子에서 드레인전류가 10 μ A이고 磁場이 10kG 일 때, 2중 드레인素子에서는 약 160mV, 3중 드레인素子에서는 200mV의 出力電壓을 얻었다. 또한 出力電壓의 直線性도 아주 良好하다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 그림 7의 素子중에서 가장 높은 出力電壓을 나타내는 W/L=1, D=3 μ m의 3중 드레인 磁氣感知 MOSFET의 드레인전류를, 변수로 磁場에 대한 출력전압을 나타낸 것이다. 그림에서 출력전압은 磁場에 대해 直線의으로 증가하며 드레인전류에 거

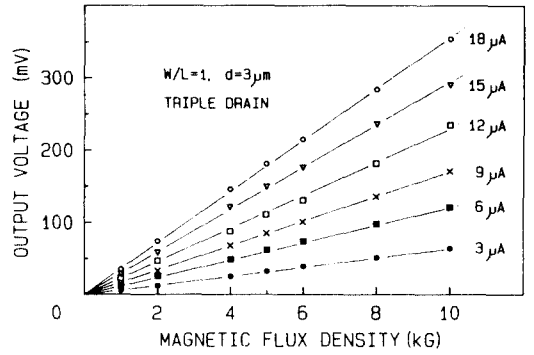


그림 8. 출력전압의 자장의존성
Fig. 8. Output voltage vs. magnetic flux densities a function of drain current.

의 선형적으로 증가한다. 그림 8에서 素子의 출력전압은 드레인전류가 15 μ A이고 자장이 10kG에서 약 300mV의 전압을 나타낸다. 이 출력전압은 부가적인 增幅회로 없이 측정된 값으로 상당히 높은 電壓이고 磁場에 대한 직선성도 良好하다. 현재 實用化되고 있는 磁氣感知器는 높은 출력전압과 磁場變化에 대해서도 높은 直線性이 要求되므로 본 實驗으로 제조된 素子는 충분한 實用的 의의를 가지고 있다고 할 수 있다.

그림 9는 그림 8의 素子를 磁場을 변수로 드레인 전류에 대해 출력전압을 나타낸 것이다. 그림에서 磁場에 대한 출력전압의 直線性이 良好하며 특히 低磁場영역에서도 우수하다는 것을 알 수 있다. 이는 수 kG정도의 低磁場영역에서 實用化되고 있는 각종 키

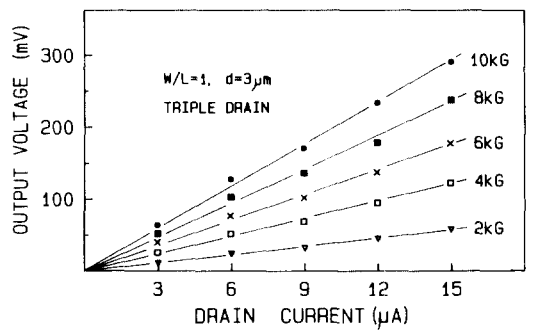


그림 9. 드레인전류에 대한 출력전압
Fig. 9. Output voltage vs. drain current as a function of magnetic flux density.

보드, 정밀형 모터등에 이용되는 磁氣感知器로서의 應用도 가능하다는 것을 보여준다.

(2) 磁氣感度 (S_R)

드레인 분리형 磁氣感知素子の 전류에 대한 磁氣感度は

$$S_R = \left| \frac{\partial V_o}{\partial B} \right| \frac{1}{I_D} \quad (1)$$

로 定義된다.^[12] 식(1)에서 I_D 는 드레인전류이고 V_o 는 출력전압이다. 磁氣感度の 단위는 $V/A \cdot kG$ 이다. 그림10은 식(1)로 계산한 드레인間隔이 $3\mu m$ 인 드레인 분리형 소자들의 磁氣感度を 자장이 $10 kG$ 일때 드레인전류에 대해 나타낸 것이다. 素子들의 磁氣感度は 약 $5\mu A$ 이상의 드레인전류에 대해서는 飽和하고 있는 것을 보여준다.

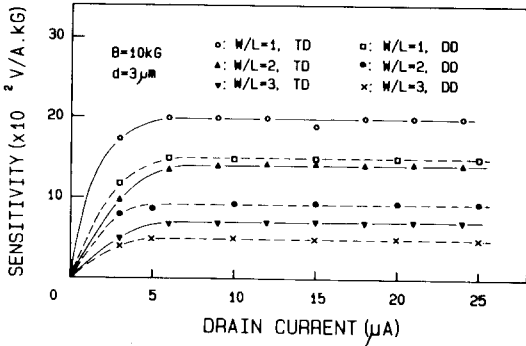


그림10. 드레인전류에 대한 자기감도
Fig. 10. Sensitivities vs. drain current as a function of various aspect ratio.

그림11은 3중 드레인 자기감지 MOSFET의 磁氣感度を $10kG$ 의 磁場에서 素子の 縱橫比와 드레인의 間隔을 변수로 드레인전류에 대해 나타낸 것이다. 본 실험에서는 素子の 크기를 고려하여 縱橫比가 2와 3인 素子の 드레인간격을 $3\mu m$ 과 $6\mu m$ 으로 변화시켜 제조하였다. 그림에서 동일한 縱橫比의 素子에서는 드레인간격이 $6\mu m$ 보다 $3\mu m$ 이 磁氣感도가 높다는 것을 알 수 있다. 또 중횡비가 3인 소자에서는 드레인의 간격에 대해 感度の 변화가 적다. 이는 縱橫比가 클수록 소자의 形狀效果(geometric effect)에 의해 磁場에 의한 전류밀도의 변화가 적기 때문에 드레인간격에 대한 효과는 줄어들기 때문이다. 그러나 드레인의 간격이 너무 좁게 되면 드레인들 사이에

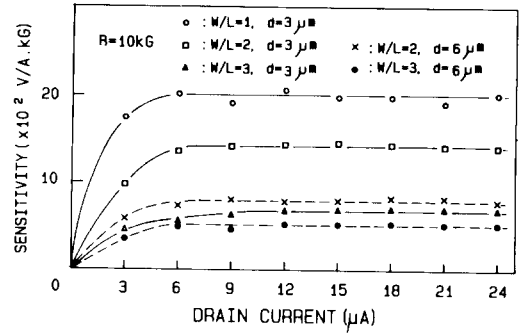


그림11. 3중 드레인소자의 드레인간격에 따른 자기감도
Fig. 11. Sensitivities vs. aspect ratio and drain separation as a function of drain current.

punch through가 발생되어 磁氣感知機能을 상실하게 된다. 따라서 드레인간격은 제조기술이 허용하는 범위내에서 가능한 한 좁게 제조하는 것이 좋다.

그림12는 p 및 n채널의 드레인 분리형소자들의 磁氣感度を $10kG$ 의 磁場에서 素子の 縱橫比에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 磁氣感度は 素子の 縱橫比가 작을수록 높고, 클수록 낮다. 그러나 縱橫比가 1이하인 소자의 磁氣感度は short 채널 效果로 자장에 의한 전류의 변화가 더 이상 증가하지 않기 때문에 磁氣感度も 더 이상 증가하지 않는다.^[10,11] 또한 n채널의 소자의 感도가 p채널에 비해 약 3.5배 높고 n채널의 소자에서는 2중 드레인소자보다 3중 드레인

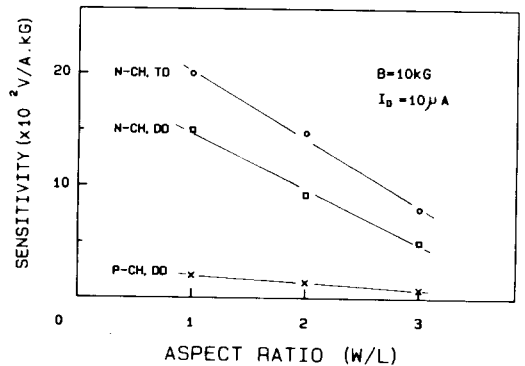


그림12. 소자의 중횡비에 따른 자기감도
Fig. 12. Sensitivities vs. aspect ratio of n and p channel MOSFETs.

소자의 感度가 약 1.5배 높다. 이는 실리콘에서의 電子移動도가 正孔의 이동도에 비해 3배 정도 높고 3중 드레인소자가 電流密度的 변화가 높기 때문이다. 따라서 磁氣感知 MOSFET의 磁氣感度は 素子の 縱橫比가 1인 경우가 가장 좋다.

그림13은 본 실험에서 제조된 가장 높은 感度を 갖는 소자인 p 및 n채널 2중 드레인소자와 3중 드레인 소자의 磁氣感度を 드레인전류에 대해 나타낸 것이다.

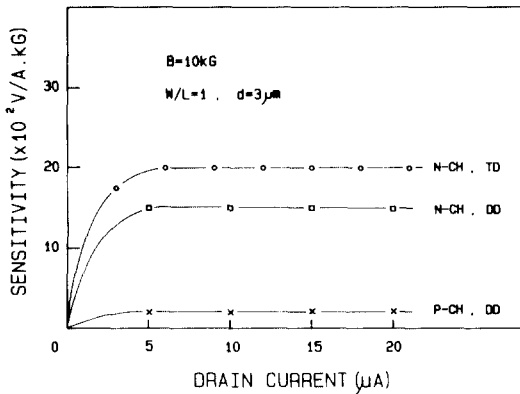


그림13. 드레인 분리형소자들의 자기감도
Fig. 13. Sensitivities vs. drain current of n, p channel double drain and triple drain devices.

現在까지 보고된 드레인분리형 磁氣感知MOSFET의 전류에 대한 感度は Popovic¹¹⁾에 의해 CMOS로 제조된 磁氣感知器의 1.4×10^4 V/A·T가 가장 높다. 본 實驗에서 제조된 n채널 2중 드레인素子の 磁氣感度は 1.6×10^3 V/A·kG이다. 이를 환산하면 1.6×10^4 V/A·T의 값이다. 또한 2중 드레인 磁氣感知素子에서는 약 2×10^4 V/A·T의 磁氣感度を 얻었다. 이는 Popovic의 소자에 비해 크기가 적고 특히 $2\mu\text{m}$ 설계 기술을 이용하여 드레인의 간격이 $3\mu\text{m}$ 로 제조되어 지금까지 보고된 分離型 磁氣感知器 中에서 가장 좋다. 또 驅動電流도 Popovic의 CMOS 磁氣感知器의 $100\mu\text{A}$ 에 비해 $10\mu\text{A}$ 이하이므로 전력소모도 적다. 드레인분리형 磁氣感知素子の 感度を 높이기 위해서는 드레인들 사이에 punch through가 일어나지 않도록 하는 범위내에서 드레인 간격을 좁게 제조하는 것이 좋다.

이상의 측정결과 본 실험에서 제조된 磁氣感知素

子들의 자기감도, 출력전압의 直線性 및 크기 등 磁氣的인 특성은 아주 良好하며 특히 低磁場에서도 출력전압의 直線性도 양호하다. MOS형태로 제조되어 전력소모도 적다. 따라서 본 실험에서 제작한 소자들은 실용적 의의가 크며 특히 2중드레인 素子보다는 3중드레인 素子の 磁氣的인 특성이 더 우수하다.

VI. 結 論

本 실험에서 제조된 n채널 드레인분리형 磁氣感知 MOSFET의 電磁氣的인 特性測定 結果 다음과 같은 결론을 얻었다. 드레인분리형 磁氣感知素子の 出力電壓과 磁氣感度は 縱橫比가 1인 소자가, 드레인의 간격에 대해서는 제조기술이 許容하는 한 적을수록 좋다는 것을 알 수 있다. 그리고 2중 드레인型 보다는 하나의 드레인을 追加한 3중드레인 磁氣感知器의 특성이 더 우수하다. 본 실험에서 제조된 縱橫比가 1이고 드레인간격이 $3\mu\text{m}$ 인 素子の 出力電壓과 磁氣感度は 10kG의 磁場과 $10\mu\text{A}$ 의 드레인전류에 대해 2중 드레인素子에서는 각각 160mV, 1.6×10^3 V/A·kG이고 3중 드레인素子에서는 각각 200mV, 2×10^3 V/A·kG이다. 또한 磁場에 대한 좋은 直線性과 기증의 素子에 비해 전력소모도 적다.

參 考 文 獻

- [1] W. Thomson, "On the electro-dynamic qualities of metals: Effect of magnetization on the electric conductivity of nickel & iron," *Proc. Roy. Soc.*, 8, 546 1857.
- [2] E.H. Hall, "On a new action of the magnet on electric current," *AM. J. MATH.*, 2, 1879.
- [3] H.Weiss, *Structure & Application of Galvano-magnetic Devices*, Pergamon Press, Oxford 1969.
- [4] G.L. Pearson, "A magnetic field strength meter employing the Hall effect in germanium," *Rev. Sci. Instr.*, 19, 263, 1948
- [5] R.C. Gallagher & W.S. Corak, "A metal-oxide semiconductor (MOS) Hall element," *Solid-State Electronics*, 9, 571, 1966.
- [6] M. Hirata & S. Suzuki, "Integrated magnetic sensor," *Proc. 1st Sensor Symp.*, 305, 1981.
- [7] A. Yagi et al, "Magnetic & electrical properties of n-channel MOS Hall-effect devices," *Jap. J. Appl. Phy*, 15, 655, 1976
- [8] P.W. Fry & S.J. Hoey, "A silicon MOS magnetic field transducer of high sensitivity," *IEEE Trans. Electron Devices*, 16, 35, 1969.

[9] R.S. Popovic & H.P. Baltes, "An investigation of the sensitivity of the magnetotransistor," *IEEE Electron Device Lett.*, 4, 51, 1983.

[10] H.P. Baltes et al., "Two-dimensional numerical analysis of a silicon magnetic field sensor," *IEEE Trans. Electron Devices*, 31, 996, 1984

[11] R.S. Popovic & H.P. Baltes, "A CMOS magnetic field sensor," *IEEE J. Solid-State Circuit*, 18, 426, 1983.

[12] R.S. Popovic, "Hall effect devices," *Sensors & Actuators*, 17, 42, 1989

著 者 紹 介



崔 昌 河 (正會員)
 1955年 12月 19日生. 1977年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업.
 1979年 2月 경북대학원 졸업(공
 학석사). 1979年 3月~1983年 1月
 국방과학연구소. 1983年 1月 국방
 품질관리소 근무중. 주관심분야는
 반도체재료 및 센서분야 등임.

李 宇 一 (正會員) 第26卷 第5號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과
 교수