

薄膜ホール素子の開発とセンサ応用

正員 柴崎一郎 (旭化成工業)

Practical High Sensitivity Hall Elements for Magnetic Sensor by Thin Film Technology
Ichiro Shibasaki, Member (Asahi Chemical Industry Co. Ltd.)

Abstract

Hall elements as mass production magnetic sensors are new application area for thin film technology such as vacuum deposition and MBE. Highly sensitive InSb thin film Hall elements formed by vacuum deposition are often applied as magnetic sensors for DC brushless motors used in electronic equipment. InAs Hall elements developed and produced by MBE have high sensitivity and stability over a wide temperature range and have potential for the present and future applications required by many electronic systems. Here, we review the recent status of application, production and the good characteristics of thin film Hall elements for use as magnetic sensors.

キーワード: InSb ホール素子, InAs ホール素子, 磁気センサー, MBE 法, デジタル磁気センサー

1. 序論 (Where, What, Why?)

ホール素子は、これまであまり注目される半導体素子ではなかった。しかし、最近の薄膜技術により開発された高感度ホール素子は電子機器、特にVTRやパソコンに使用される精密制御の小型DCブラシレスモーターの磁気センサーとして、市場が伸びてきた。この様なホール素子を使うブラシレスモーターは、別名ホールモーターとも言われ電子機器に動力を供給する為に無くてはならない重要デバイスで、近年の電子機器の発展に伴い数多くの種類が開発され、今やモーター産業の重要な新規の一分野を形成している。ホール素子の年間の市場は年々伸びて今や15億個に迫る勢いである。図1にはホール素子の最近の(世界)市場の推移を示した。単品で単機能のセンサーとしては最も多く生産されていると思われる。InSbホール素子が最も多く市場の80%を占め、次に多いのはGaAsホール素子で20%弱を占めると推定される。

ホール素子の用途の90%以上は、オーディオ、ビデオのテープ走行制御や、パーソナルコンピュータのメモリーであるフロッピーディスクやCD-ROM等の駆動に使われるホールモーターの磁気センサーである。従って、ホール素子はVTRやパソコンの発展とともにその需要が拡大してきた。

ホール素子は、半導体のホール効果⁽¹⁾を利用して磁界を検出して電圧信号として出力する磁気センサーである。図2には、ホール効果によるホール素子の原理を示した。検出磁界の磁束密度に比例する出力電圧はホール出力電圧 V_H と呼ばれ、定電圧 V_{in} で駆動する場合

$$V_H = \mu_H \cdot \frac{W}{L} \cdot V_{in} \cdot B \quad (1)$$

であらわされる。 W/L は素子の形状係数、 μ_H は電子移動度で、この式から、磁界での感度でもあるホール出力電圧は電子移動度にも比例する。^(2, 3, 4, 5, 6) また、定電流 I_c で駆動する場合は、

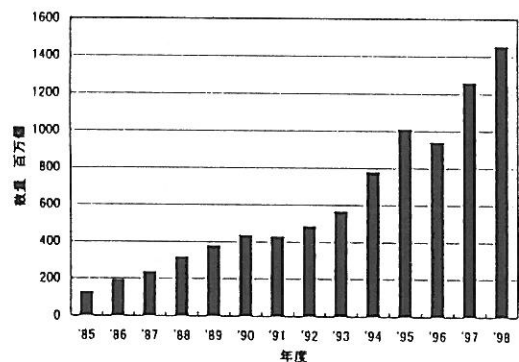


図1 ホール素子の市場 (世界)

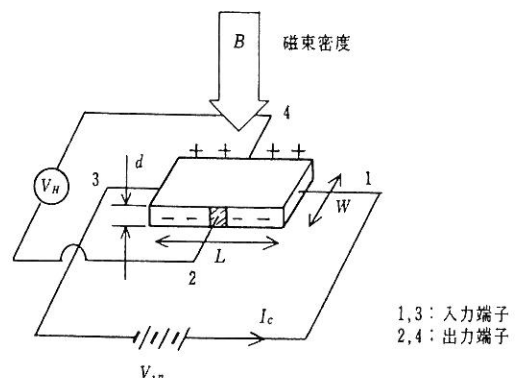


図2 ホール素子の動作原理

$$V_H = R_H \frac{I_c B}{d} \quad (2)$$

で表され、 R_H はホール係数、 d は半導体の厚さである。このため、ホール素子には、InSb、InAs、GaAs等の電子移動度が大きい化合物半導体、特に、その薄膜又は薄層が使われる。薄膜化は、消費電力の低減などのメリットがあり、更に、大きなホール出力電圧が得られ構造も製作できる。ところでこの様な重要なセンサーとして発展したホール素子であるが研究の歴史は古く、米、欧に始

まったが実用化につながる先駆的な研究が日本で行われている。酒井らのグループはInSbの蒸着法の研究を行い、更に、片岡は磁電変換素子研究の成果を著作「磁電変換素子」として著した。^(7, 8)これらの研究は、日本に於けるその後の磁気センサーの実用技術の開発の基礎となった。

ホール素子は、当初は高価で量産性に欠け、更に、小型化が難しく信頼性が低い等の問題があり、容易に使える素子ではなく、応用は磁界計測の分野が中心であった。1970年代の後半に至って、従来のホール素子のイメージを一新した第二世代のホール素子とも言うべき低価格で大量に供給出来る新規の高感度ホール素子が真空蒸着法で開発された。この方法は、従来から知られていたInSbの3温度蒸着法とは違って、いくつかの蒸発源から順次InSbを蒸発させ、これまで難しかった化学量論的な組成を極めて単純に制御し、(1)厚さ1 μ mレベルで、電子移動度が20,000cm²/V $\cdot$ sを超えるInSb薄膜を工業的に量産できる。更に、(2)フェライトの基板とチップの間にInSb薄膜をサンドイッチする磁気増幅構造をホール素子に採用し、従来のホール素子とは全く違った実用的な高感度を達成した。この素子は開発の当初は音質を重視したオーディオプレーヤーのホールモーターの磁気センサーに応用された。その後、1980年代になりノイズの少ない、制御精度の良いホールモーターを動力源として必要とするVTRやパソコン等が開発、実用化されホールモーターの需要、即ち、高感度薄膜ホール素子の大量の需要を招いた。この素子は小型化、薄型化、面実装化、低コスト化等の課題をクリアして大量生産技術が確立され、ホールモーター用の磁気センサーとして大量に使われ現在に至っている。

ところで、ホール素子の応用は小型モーター以外も重要で注目されている。ホール素子は本質的に無接触センサー機能を有する磁気センサーである。この為、直流電流の無接触検出や、非電動機、例えば自動車用の無接触回転検出、更に、産業用機械の制御用の無接触の位置検出センサー等の応用もある。このような応用ではホール素子の使用環境がこれまでの用途と大きく異なる。VTRやパソコン等でホールモーターが使われるこれまでの環境は主として室温周辺-20~80℃程度の温度範囲であった。このような使用環境では、InSb薄膜ホール素子は、特にその環境性能を問われることもなく、高感度特性を最大限に発揮して機械的、電磁的ノイズが少ない、制御精度の良い無接触センサーとして大量に使われてきた。然るに、電動機以外のシステムの回転や速度検出、大型インバーターの制御、大電流、電力計測等、屋外や高温度、低温度等の厳しい環境条件下で使われる機器の制御センサー、車載センサー等への新規用途では、これまで要求されなかった長寿命、広い温度範囲にわたる安定動作等が必要である。一例として自動車用途の無接触センサーでは、-40~150℃の範囲で確実に動作することが要求される。この温度範囲は室温を含む190℃の温度範囲である。この温度範囲での駆動

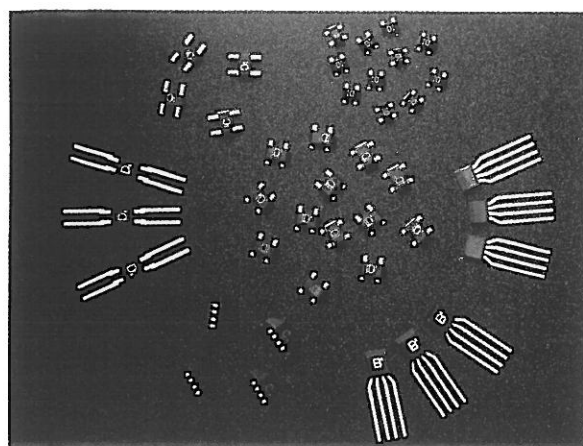


図3 高感度InSbホール素子写真(旭化成電子)

は一般の半導体素子には厳しい条件である。例えば、市販されているSiの集積回路の場合は例外的ケースを除いて、125℃が使用温度の上限である。高感度InSbホール素子は、素子抵抗の温度依存性が-2%/℃と大きく、100℃以上の高温や-20℃以下の低温での駆動を難しくしている。又、現在市販されているGaAsホール素子も高温まで駆動できるが、磁界検出感度が低く、更に、低温でオフセット電圧のドリフトが大きい等の問題がある。InSbよりバンドギャップが大きい(0.36 eV) InAsは電子移動度も大きく有力なホール素子材料である。最近MBE法により開発され実用化が始まったInAs系ホール素子は、100℃を超える高温や-20℃以下の低温でも安定動作する。更に、InAsの深い量子井戸を感磁部に使用し、低温から高温まで広い温度域で動作し、高感度、高出力のホール素子が開発されている。

ホール素子に新たな機能を付加しよりインテリジェント化する動きもある。高感度の化合物半導体薄膜のホール素子と増幅回路と一体化し、これまで実現できなかった高感度、高信頼性のデジタル出力の磁気センサーが開発されて、無接触センサーやパワーモーターなどのセンサー等への応用が始まっている。

以下、著者らが開発し、市場で最も多く使われている(市場占有率70%、最近の生産量は年間10億個を超える)高感度InSb薄膜ホール素子を中心に薄膜ホール素子技術と磁気センサー応用の現状を紹介する。

2. 高感度InSb薄膜ホール素子

InSbは電子移動度が室温では最も高い材料で、純度の高いバルク単結晶で70,000cm²/Vsの値を有する。ホール素子は、当初、InSbの単結晶を研磨して薄くしたものを感磁部として用いていた。このため、入力抵抗が一般に数オームと小さく、定電流で駆動するためホール電圧や素子抵抗の温度変化(-2%/℃)が大きく使いにくかった。さらに量産も難しく高価で、磁界計測など用途に限られていた。このような初期のホール素子に対して、現在市場で大量に使用されている高感度InSbホール素子は、

ホール素子のセンサー部に真空中で薄いマイカ基板上に蒸着されたInSb多結晶薄膜を使う。このInSbの真空蒸着膜は、専用に開発された量産蒸着装置によって工業的に、厚さが均一で、電子移動度も高く、薄膜ゆえにシート抵抗値が170Ω程度有るものが量産ベースで高収率で得られる。この薄膜はホトリソグラフィの応用により高精度のエッチング加工が出来、オフセット電圧の小さいホール素子が製作できる。(2, 3, 4, 5, 6)

この高感度InSb薄膜ホール素子の写真を図3に、技術の要点を、以下の3点にまとめた。

- 1) 薄いマイカ基板上に電子移動度20,000~30,000cm²/V·secのInSb薄膜を真空蒸着法により製作する工業的な量産製造技術である。
- 2) 厚さ0.8μmのInSb薄膜をフェライトでサンドイッチする新規な磁気増幅構造の高感度ホール素子。この構造により、InSb薄膜に加わる磁界が3~6倍程度増幅され、効率的に感度アップができる。現在量産されている素子では、当該ホール素子がトップの高感度である。

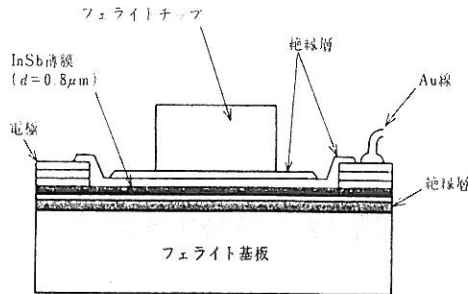


図4 高感度InSb薄膜ホール素子の構造（断面）

3) 定電圧駆動による室温周辺での温度依存性の低減。

真空蒸着法による高感度InSb薄膜ホール素子は、単結晶と比較して電子移動度は小さいが、薄膜をセンサー部に用いるので入力抵抗が（～350Ω）と大きく、定電圧、即ち、1Vの入力電圧で駆動できる。この結果、ホール出力電圧の室温周辺での温度依存性が従来の値の1/10～1/20に小さくなった。これは、式（1）にあるように電子移動度の温度依存性がホール電圧の温度依存性を決める定電圧駆動の大きな特徴である。真空蒸着で製作したInSb薄膜ホール素子で初めて可能となった。更に、これまでのホール素子の常識を破る低消費電力、及び、高信頼性を達成している。

表1には、このような優れた特性を有する高感度InSbホール素子の基本的な特性を示した。ホール出力電圧 V_H と磁束密度 B 、ホール電圧の室温周辺での温度依存性をそれぞれ図5及び図6に示した。この高感度InSb薄膜ホール素子の定電圧駆動の、実用上のメリットは極めて大きく、磁気増幅構造による高感度化と併せてこのホール素子が大量に使われる要因となった。

表1 高感度InSbホール素子の特性
(旭化成電子HW-300A)

(a) 最大定格

項目	測定条件	定格
最大入力電流 I_c (mA)	40°C定電流駆動	20
最大入力電圧 V_{in} (V)	40°C定電圧駆動	2.0
動作温度 (°C)		-20~100
保存温度 (°C)		-40~110

(b) 電気的特性 (測定温度 25°C)

項目	測定条件	最小値	標準	最大値
ホール出力電圧 V_H^* (mV)	定電圧駆動 $B=500$ G, $V_{in}=1$ V	122		274
入力抵抗 R_{in} (Ω)	$B=0$ G, $I_c=0.1$ mA	240		550
出力抵抗 R_{out} (Ω)	$B=0$ G, $I_c=0.1$ mA	240		550
不平衡電圧 V_u (mV)	$B=0$ G, $V_{in}=1$ V	-7		7
出力電圧の温度係数 α_H (%/°C)	20°C基準 0~40°C間の平均 $B=500$ G, $I_c=5.0$ mA			-2
入力抵抗の温度係数 α_R (%/°C)	20°C基準 0~40°C間の平均 $B=0$ G, $I_c=0.1$ mA			-2
絶縁抵抗 (MΩ)	100 VDC	1.0		

* V_H は、実測の出力端子間電圧から不平衡電圧 V_u を差し引いた値。

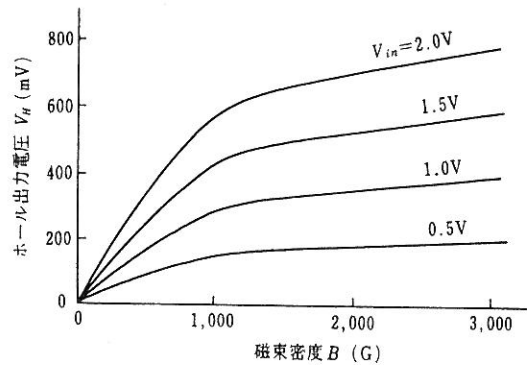


図5 高感度InSbホール素子 V_H - B 特性

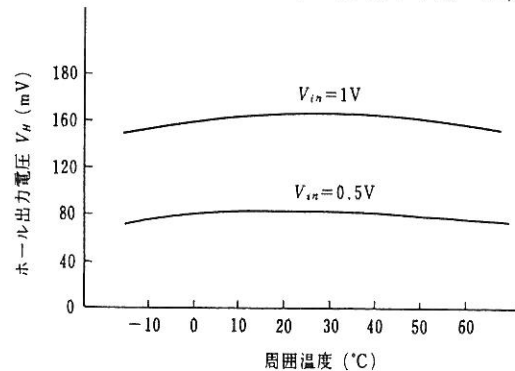


図6 ホール電圧の温度依存性（定電圧駆動）

この素子の開発により、VTRやパソコン等に必要とされる精密な回転制御、低ノイズ特性、低価格の小型ホールモーターの量産、供給が初めて可能になった。この素子は、今年年間10億個以上製作され使われており、ホールモーターに必須の磁気センサーとして、モーター産業の一

翼を担っている。

ホール素子には小型モーター以外にも、無接触の位置センサーや電流センサー等の重要な応用分野がある。ホール素子を使えば電線を切らず、無接触で電流計測が可能であり、この様な電流センサーはホール素子の最も特徴的な応用である。電流センサーによる高精度のインバーター制御はパワー制御の重要な技術であり、今後の広がりが期待されるホール素子の応用分野である。この様な高感度 InSb ホール素子であるが、問題点も有る。即ち、 0.17eV という狭いバンドギャップに起因する素子抵抗の -2% という大きな温度依存性により駆動できる温度範囲が室温周辺に限られることである。VTRやパソコンなどの磁気センサーとしてはこれらの機器が室温周辺での駆動を前提としており問題とはならなかった。しかし、低温や 100°C 以上の高温でホール素子を使う応用、例えば、自動車用無接触センサーのように広い温度域で使われる場合は問題となる。この様な応用に相応しい新規のホール素子については次節で議論する。

3. MBE法による InAs 薄膜ホール素子

ホール素子の将来の用途として期待される自動車用等の無接触センサーでは $-40\sim+150^\circ\text{C}$ の範囲で安定して動作することが必要である。このような新たな応用では動作温度範囲は従来より実質2倍に広がる。 InAs は、 InSb に次ぐ高い電子移動度を有し、バンドギャップも InSb より大きく、 0.36eV (300K)で、高感度で低温から高温まで安定動作のホール素子が期待できる。^(9, 10, 11)

InAs は、格子定数は $6.06\text{\AA}$ 、室温での電子移動度は $33,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、 $d(\Delta E_g)/dT$ が $0.35 \times 10^{-4}\text{eV/K}$ である。室温周辺ではエネルギーギャップの温度依存性は少ない。

MBE法は、容易に特性の優れた InAs 単結晶薄膜が製作できる方法である。又、超薄膜や、量子井戸構造の製作も容易であり、温度特性に優れ、且つ、高感度のホール素子製作が出来る薄膜製法として優れた方法である。

更に、大面積の InAs 単結晶薄膜製作も可能である。

3.1 Siドープ InAs ホール素子

InAs 薄膜はMBEによる結晶成長中に不純物をドーピングして電子濃度を大きくすると、電子濃度の温度係数と電子移動度の温度係数を同時に小さくできる。

ホール素子を製作する目的で半絶縁性の GaAs 基板の(100)面より 2° Offした表面に Si をドーピングした膜厚 $0.5\mu\text{m}$ の InAs 薄膜(GaAs 基板とは 7% というかなり大きな格子のミスマッチがあるが敢えて無視している)室温での電子移動度が $10,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ を超える。更に、抵抗値(シート抵抗値)と電子移動度の温度依存性は、ドーピングの効果でアンドープの場合に比べて小さくなり、ホール素子製作に好適である。

InAs ホール素子を量産する目的で開発した大面積の薄膜成長用MBE装置(この装置は1枚の基板ホルダーに

2インチ GaAs 基板が12枚が同時にセットでき、 Si をドープした InAs の薄膜が12枚同時成長できる)を使用し、 GaAs 基板上に成長した厚さ $0.5\mu\text{m}$ 、 Si ドープ InAs 薄膜を成長した。この薄膜の標準的な特性は電子濃度 $8 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 、電子移動度は $10,000\sim 11,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ である。この薄膜を用い、感磁部が十字の対称パターンで、入力抵抗、出力抵抗を 350Ω 、チップサイズは 0.36mm^2 角で設計し、本素子特有のプロセスにより素子化し、量産ラインでパッケージし InAs ホール素子を製作した。^(11, 12, 13, 14, 15) また、磁界での特性は、表2に示した。

表2 InAs ホール素子の基本特性(旭化成電子)

項目	特性	条件
ホール出力電圧 V_H	100mV	入力電圧 6V 磁束密度 0.05T
入力抵抗値 R_{in}	350Ω	
出力抵抗値 R_{out}	350Ω	
不平衡電圧 V_u	$\pm 8\text{mV}$ 以下	入力電圧 6V

この素子は、下記のような特徴がある。

- 1) 磁界での出力の直線性に優れる。
- 2) 磁界での感度も市販の GaAs ホール素子よりも 50% 程度高く、ホール素子の感度(ホール出力電圧)は $100\text{mV}/6\text{V} \cdot 0.05\text{T}$ が量産素子で得られている。
- 3) ホール出力電圧の温度依存性は $-0.18\%/^\circ\text{C}$ 、極めて小さい。適当な駆動条件を選ぶことで $-40\sim 150^\circ\text{C}$ の広い温度範囲で駆動できる。
- 4) ノイズやオフセット電圧のドリフトが少ない特徴もある。(電流検出などの応用で特に重要)

特に、高温で駆動するとき重要な素子抵抗値は 100°C 以上でも室温レベルの抵抗値が維持されており、高温で過電流による素子は破壊の可能性は極めて少なく信頼性も良い。

この様な Si ドープ InAs ホール素子の小型モーター以外の主な応用例は電流検出で、^(16,) 直流も含む過渡的な電流を精度良く検出できる電流センサーの磁気センサーとして実際に使われ好評である。又、その特徴を生かし自動車用途の磁気センサーとしても応用が検討されている。不満があるとすれば、磁界での感度が InSb ホール素子に及ばないことである。

3.2 InAs の深い量子井戸(DQW)ホール素子

InAs ホール素子の温度依存性を少なく、且つ、磁界での感度もしくは出力を大きく得るには、センサー部の InAs 薄膜に対して、高い電子移動度と高い電子濃度、更に、高いシート抵抗値が要求される。この矛盾した要求を満たすにはセンサー部の InAs 薄膜を極めて薄くする必要がある。このような条件を実現するためには InAs

と格子整合の良い絶縁層が必要となる。InAsと格子整合する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1.0$, $0 \leq y \leq 1.0$) から成る4元素をポテンシャルバリア層とした量子井戸構造のホール素子が製作されている。この系はInAsと伝導帯のバンドギャップ差が1 eV以上有る。図7には、 $\text{Ga}_{0.55}\text{Al}_{0.45}\text{As}_{0.02}\text{Sb}_{0.98}$ 層をInAsに格子整合するポテンシャルのバリア層、即ち、バッファ層、及びキャップ層としてGaAs (100) 基板上にMBE法により製作したInAsを動作層とする深い量子井戸 (Deep quantum well: DQW) 構造のホール素子 (断面) を示した。(15, 18, 19, 20, 21, 22)

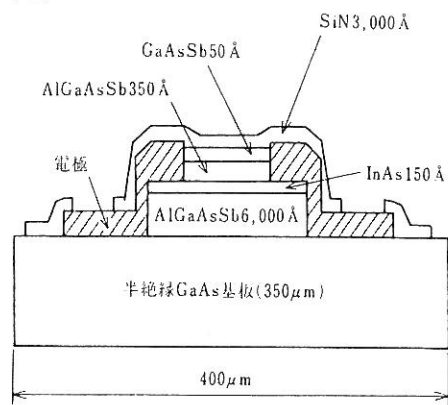


図7 InAs DQW構造のホール素子 (断面)

この素子は、ホール効果を生ずる動作層は厚さが150 ÅのInAsで、室温の電子移動度として $20,000 \sim 32,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ の値が得られた。この値は、これまでInAs薄膜で得られた電子移動度としては最も高い値である。

このホール素子では、ホール出力電圧がSiドープInAsホール素子の2.6倍の $260 \text{ mV}/6 \text{ V} \cdot 0.05 \text{ T}$ の高感度、高出力が得られている。

図8にInAs DQW構造のホール素子のホール出力電圧とその温度依存性を他のホール素子と比較して示した。

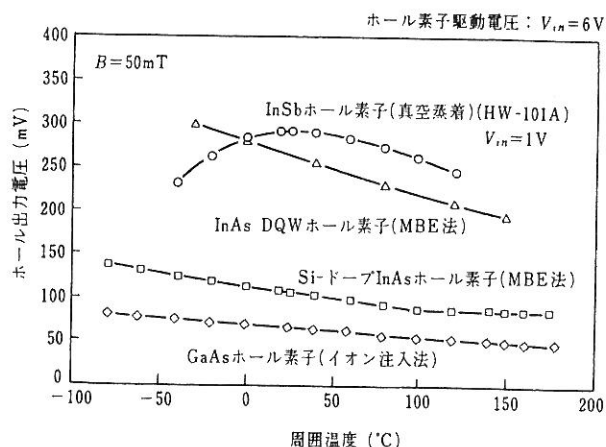


図8 各種ホール素子のホール電圧の温度依存性比較

図8から判るようにInAs DQW構造のホール素子は、1) 磁気増幅構造のInSbホール素子の感度に匹敵する

高感度である。

2) ホール出力電圧と検出磁界との比例性にも優れる。

3) ホール出力電圧の温度依存性が極めて少ない。

4) 動作温度範囲が広い。

という特徴を有する。このホール素子は、量産技術の確立など今後の課題もあるが、新たなより広範な将来の非接触、無接点センサーのニーズに対応できる次世代磁気センサーとして期待できる。

4. 薄膜ホール素子のインテリジェント化とデジタル出力磁気センサーの開発

高感度の化合物半導体薄膜のホール素子と増幅回路と一体化し、高感度、高信頼性のデジタル出力の磁気センサーを製作するインテリジェント化の動きもある。デジタル出力の磁気センサーとしてはSiのモノリシックホールICがあるが歪みや応力に敏感で、オフセットが大きく、感度が低いなど使用上の問題が多く、長い間未解決であった。

感度の高い化合物半導体薄膜のホール素子をセンサー部に用い、増幅回路にSiの集積回路を組み合わせると高感度のデジタル出力の磁気センサーが製作できる。この素子は、出力はhigh (OFF) (電源電圧: 無磁界) - low (ON)

(ゼロ電圧: 磁界検出時) の2レベルのTTLコンパチのデジタル信号出力の磁気センサーである。InSbホール素子をセンサー部にし、電源と出力を含む3端子素子で製作した例では、電源電圧DC 5 ~ 24Vに対応して、磁束密度10 mTでON, 7 mTでOFFするものが開発されている。高感度で、歪みや応力、外部ノイズ等に強く、安定に動作する。これらはSiのモノリシックデバイスでは実現できない強みである。現在、ファンモーター、パワーモーター、エアコンなどの無接触制御センサーや無接触スイッチ素子としてその応用が始まっている。図9にはデジタル磁気センサーのブロックダイアグラムを示した。この素子は、基本的にON-OFFの無接触センサであり、出力信号の複雑な回路処理は不要である。(23)

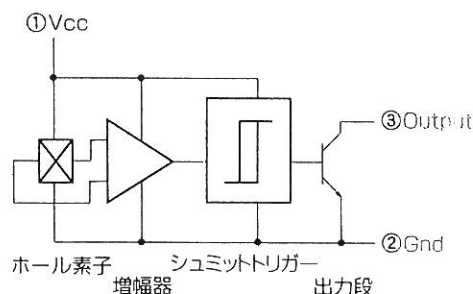


図9 化合物半導体デジタル磁気センサーの構成図

動作特性は、磁気センサー部と増幅回路との組み合わせの選択でできる。例えば、InAsホール素子を使うと-40°Cの低温度から150°Cの広い温度範囲での駆動が可能で、高感度のデジタル磁気センサーが実現できる。今後は、メカトロニクス分野への応用や省電力が要求される家

電機器の動力用モーターの制御用、あるいは、車載センサーへの応用等が始まっており今後の発展が期待される。

このような、速度によらない磁界検出信号の得られるホール素子による単純なデジタル出力の無接触センサーは、今後の動力制御や位置制御、入力スイッチ等応用範囲は極めて広く、運動と電子回路をつなぐ素子としてメカトロニクス分野での将来が期待されている汎用デバイスである。

5. むすび

電子機器に必要な理想的な動力を生む手段として小型ブラシレスモーターは、半導体とともに、21世紀に向けて情報電子産業を支える重要部品である。それを可能とするホール素子も又重要部品である。今や、ホール素子は年間15億個近く生産される化合物半導体磁気センサーとして成長し、InSbやInAsのような高い電子移動度を有する化合物半導体薄膜の重要な応用分野である。高感度ホール素子の開発は、真空蒸着に始まり、MBE法による単結晶InAs薄膜の製作、InAsの深い量子井戸構造の製作、更に、本稿では触れなかったがMBEによる単結晶InSb薄膜の研究も進んでいる。

ホール素子は、無接触の磁気センサーの特徴を生かし、多方面にわたる応用の拡がり、更には、単純なアナログ出力のセンサーに留まらずデジタルセンサー化等インテリジェント化することで、より機能的な磁気センサーへの変身等、21世紀に向けた新たな発展が期待される。

(平成11年6月21日受付)

文献

- (1) E.H.Hall, Am. J. Math. 2, 1879, p.287
- (2) 蒸着ホール素子とその特性(半導体の先端技術集成)(株)経営システム研究所、(1984) p. 373
- (3) 柴崎一郎、日化協月報、高感度ホール素子とその実用化、Vol.41, No.5(1988), p.12
- (4) 高感度InSbホール素子の開発と量産化
大河内賞受賞業績報告書、昭和62年度 第34回、(1988) p.58
- (5) I.Shibasaki, High sensitive Hall element by vacuum deposition, Technical Digest of the 8th Sensor Symposium.1989 p.211, (IEE Japan)
- (6) 最先端のインテリジェントモーション、技術調査会、1989, p. 101
- (7) 酒井善雄、大下正秀、電気学会雑誌、80, p166(1960)
- (8) 片岡照栄、磁電変換素子、(日刊工業新聞社、1972)
- (9) 高橋清、森泉豊栄、酒井善雄、第26回応用物理学学会学術講演会(春期)予稿集、1965, p.18
- (10) 伊藤隆 市森史明、金山裕一、柴崎一郎、第38回応用物理学関係連合講演会(春期)講演予稿集第1分冊、(1991)、p.267
- (11) Ichiro Shibasaki, Y. Kanayama, K. Nagase, T. Ito, F. Ichimori, T. Yoshida, and K. Harada, Technical Digest of the 10th Sensor Symposium.1991, p.113, (IEE Japan)

- (12) I.Shibasaki, Y. Kanayama, T. Ito, F. Ichimori, K. Nagase, T. Yoshida, K. Harada, High sensitive thin film InAs Hall elements by MBE, Digest of Technical Papers, Transducers1991 p.1069, IEEE
- (13) T. Yamamoto, T. Iwabuchi, T. Itou, Y. Kanayama, K. Nagase, T. Yoshida, F. Ichimori, Technical digest of the 12th Sensor Symposium, 1994, p.221 (IEE Japan)
- (14) T. Iwabuchi, T. Ito, M. Yamamoto, K. Sako, Y. Kanayama, K. Nagase, T. Yoshida, F. Ichimori, I. Shibasaki, J. of Crystal Growth 150, 1995, p.1302
- (15) I. Shibasaki, J. of Crystal Growth, 175/176, 1997, p13-21.
- (16) 伊藤隆、山本正樹、市森文明、吉田隆、名井一展、柴崎一郎、電気学会、東京支部沼津・山梨支所第3回研究発表会予稿集、1996、p.13(電気学会、東京支部、沼津支所)
- (17) 柴崎一郎、応用物理 Vol.67, 1998, p289
- (18) 柴崎一郎、電子材料、Vol.37, 1998年11月号、p.108
- (19) K. Nagase, S. Muramatsu, N. Kuze, T. Iwabuchi, A. Ichi, M. Toyama, I. Shibasaki, Digest of Technical Papers(Late News), The 7th International Conf. on Sensors and Actuators:Transducers, '93, 1993, p.32, (IEE, Tokyo, Japan)
- (20) K. Nagase, S. Muramatsu, N. Kuze, A. Ichi, I. Shibasaki, K. Mori, Technical digest of the 12th Sensor Symposium, 1994, p.209, (IEE, Tokyo, Japan)
- (21) N. Kuze, K. Nagase, S. Muramatsu, S. Miya, T. Iwabuchi, A. Ichi, I. Shibasaki, J. Crystal Growth, 150, 1995 p.1357
- (22) N. Kuze, H. Goto, M. Matsui, I. Shibasaki, and H. Sakaki, J. Cryst. Growth, 175/176, 1997, p.868
- (23) 石橋和敏、田近克彦、徳雄聖一、杉山博敏、岡田一朗、今井秀秋、柴崎一郎、電気学会東京支部沼津・山梨支所第1回研究発表会予稿集、1995, p.17

柴崎 一郎(正員) 1942年11月17日生まれ。



1966年東京理科大学理学部物理学学科卒業、1971年東京教育大学大学院博士課程物理学専攻修了(理学博士)、物理教室勤務を経て1974年旭化成工業(株)入社しホール素子の開発を担当、技術研究所室長等を経て1995年より(現職)研究開発本部 本部長付リサーチフェロー、開発した「高感度InSbホール素子の量産化」技術は昭和62年度大河内記念生産賞を受賞。1996年度科学技術功労者表彰において「高感度薄膜ホール素子技術の開発」により科学技術庁長官賞受賞、1997～1998年度電気学会東京支部沼津支所長
物理学会、応用物理学会、応用磁気学会、IEEE 会員