

メカトロボックス7

最先端の インテリジェント モーション

メカトロニクス編集部 編

技術調査会

12. ホール素子

直流ブラシレスモータの技術進歩の流れの中で、最近注目された部品の1つにホール素子がある。ホール素子を使うホールモータは、オーディオ、ビデオ、フロッピーディスクドライブ等の機器に多用され、ブラシレスモータの代名詞になりつつある。

ここでは、モータの回転の位置検出センサとして多用されている薄膜のホール素子について、最近の動向を述べる。

ホール素子は、薄膜のホール効果を利用して磁気信号（または磁界）を検知し、検出磁界の磁束密度に比例した電気信号出力の得られる磁気センサである。直流駆動のブラシレスモータでは、回転する永久磁石、すなわち回転子の作る磁界を検出し、回転子の回転の角度や角速度をホール素子を用いることにより容易に知ることができ、モータ回転の制御に利用している。

最近進歩の著しいオーディオ技術やビデオ技術において、ワウフラッタの改善やモータノイズの低減などホールモータ化は欠くべからざることであり、近年のこの分野での技術革新の中核をなしてきた。このため、近年ホールモータの生産は急激な伸びを示しておりそれに使われるホール素子も年々大幅な伸びを示している。ホールモータに用いられるホール素子は、高感度、長寿命（高信頼性）、低価格という3つの要素に加え、小形モータに用いられることから微小なサイズであることが要求される。モータ用ホール素子の技術は、用途の拡大とともに、これらの要求に応えることによって困難なハードルを乗り越えてきており、今日のオーディオやビデオ技術、フロッピーディスクドライブ等のOA機器の発展を支える重要技術として成長してきた。そして、ホール素子はそれまでの磁界測定センサより脱却し、汎用性のある無接触の磁気センサとして認知されるに至った。ホールモータはこのホール素子の無接触センサとしての機能を最も適切に利用し

ている装置である。

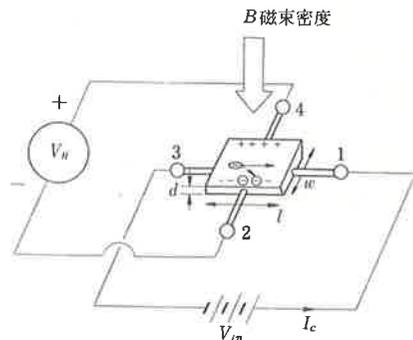
以下では、現在最も多くモータ用として使われている、磁気増幅構造をもつ薄膜のInSb高感度ホール素子および、最近開発され、モータ用に利用され始めたInAsホール素子について、駆動法、動作特性、今後の技術動向などについてふれてみたい。

12.1 ホール素子の駆動原理

ここでは、ホール素子の動作原理および実用上重要な不平衡電圧などについて述べる。

12.1.1 ホール素子動作原理、駆動法

図1に、幅 w 、長さ l 、厚さ d の n 形半導体のホール素子のホール効果による原理図を模式的に示した。1,3は入力制御電流端子（入力電極）で、2,4はホール出力電圧端子（出力電極）である。



素子の形状因子
 d : 半導体の厚さ
 w : ホール素子の幅
 l : ホール素子の長さ
 入力端子 : 1, 3
 出力端子 : 2, 4

図1 ホール素子駆動図

入力電極1,3に一定の入力制御電流 I_c を流し、半導体片に垂直に磁束密度 B の磁界を加えたとき、出力電極2,4間に発生するホール出力電圧 V_H は、⁽¹⁾

$$V_H = R_H \cdot \frac{I_c \cdot B}{d} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる(定電流駆動)。ここで、 R_H はホール係数である。電子のみがキャリアとして存在する簡単なモデルでは、 $R_H = 1/e \cdot n$ (e =電子電荷、 n =電子濃度)で与えられる比例定数である。 $K_H = R_H/d$ は定電流積感度と呼ばれる量で、ホール素子の磁界に対する感度特性を示す。一般にこの値が大きい方がホール電圧が大きく、磁気検出特性が良い。また、実際のホール素子では、半導体の形状 l/w の値に依存する形状効果があるが、小さいとして無視した。半導体の厚さ d が薄い程、高感度の素子が得られるため、素子材料としては近年、薄膜が選ばれている。また、次に述べる定電圧駆動法でも、入力抵抗の高いホール素子が必須であり、薄膜が望ましいホール素子材料となっている。

次に、ホール素子の入力電極に一定の電圧 V_{in} を加えた場合のホール出力電圧 V_H は、磁界が小さく、磁気抵抗効果によるホール素子の抵抗変化が小さい場合には、⁽²⁾

$$V_H = \mu_H \cdot \frac{w}{l} \cdot V_{in} \cdot B \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる(定電圧駆動)。 μ_H は半導体の電子移動度(ホール移動度)である。 $K_H' = \mu_H \cdot w/l$ は、定電圧積感度と呼ばれ、定電圧入力時のホール素子の磁界に対する感度特性を示す。ホール素子の磁界検出感度は K_H' が大きい程良い。

さて、式(1)、(2)とも、ホール出力電圧は、磁束密度に比例することを示しており、この関係は、磁気抵抗効果が小さい低磁界では常に成立し、良好なホール出力電圧の磁界比例性が磁束密度の符号も含めて得られる。この性質は、ホールモータの回転位置検出へ応用したとき、極性の判別が容易にできるという他の素子では得がたい特徴となる。

次に、(2)式で表わされる定電圧駆動法を、InSbホール素子に用いると、ホール出力電圧 V_H の温度変化が室温付近で極めて小さくなり、実用上、非常に大きな特徴となる。高抵抗の薄膜のInSbホール素子は、このような定電圧駆動が最も好ましい駆動法で、素子定電圧駆動ができるよう設計されている。この結果、それまで、温度特性が悪いという評価によりInSbホール素子が大量に使用されなかった問題は、定電圧駆動の可能な薄膜InSbホール素子の出現で解決し、今日大量にモ

ータへ応用されることとなった。

しかし、このような温度特性改善の効果は、InAsホール素子やGaAsホール素子には必ずしも見込めないが、最近の傾向として、定電圧駆動法はこれらの素子にも広く行われている。

12.1.2 不平衡電圧

実際に製作されるホール素子では、必ず入力電極の対称性のずれや、特性の不均一分布があり、半導体内に電界の不均一分布が生じ、磁界が印加されない状態でもホール素子の出力電極にオフセット電圧が生じる。これは通常、不平衡電圧と呼ばれており、磁界が存在しない状態で、入力電極1,3間に一定の電流または電圧を入力したときの出力電極2,4間の電位差で表わされる。従って、ホール素子の出力電圧 V_H は、実際の出力電極間の電位差から不平衡電圧 V_u を差し引いて得られる。不平衡電圧は、正負いずれも生じ、使用上好ましくないが、やむを得ず発生する。ホール素子を使用するとき、ホール出力電圧に対し不平衡電圧 V_u がどれだけ小さく抑えられているかは、積感度とともに、実用的な素子の良否を決める重要なポイントである。一般には、一定入力条件での V_u 値、または V_u/V_H の値で表示される。一般に V_u の大小値は、感度との比較で論じられる場合が多く、弱い磁界で使う場合、ホール素子の不平衡電圧は極力小さく抑える必要がある。不平衡電圧をいかに小さく抑えるかは、ホール素子製造技術上、常に取り上げられてきた課題であり、また素子使用上、常に要求される課題でもある。

12.2 高感度薄膜ホール素子の特性

12.2.1 高感度InSbホール素子

モータ用位置センサとして、現在最も多く使われているのは、薄膜InSbホール素子である。⁽²⁾⁽³⁾ 図2に示すように、その基本構造は、ソフトフェライトの強磁

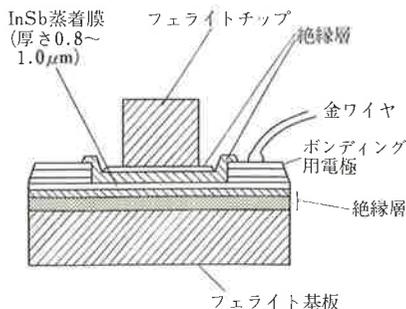


図2 ホール素子断面図(磁気増幅形)

表1 高感度InSbホール素子の仕様(HW-300A)⁽³⁾

(a) 最大定格					
項目	記号	測定条件	定 格	単 位	
最大入力電流	I_c	40℃定電流駆動	20	mA	
最大入力電圧	V_{in}	40℃定電圧駆動	2.0	V	
動作温度	T_{op}		-20~100	℃	
保存温度			-40~110	℃	

(b) 電気的特性(測定温度25℃)

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

* 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。

性体で上下からInSbの薄膜からなるホール素子部をサンドイッチした構造によって高感度化したものである。この構造により、入力電力を増加せずに、容易にホール出力電圧を3~6倍程度、増幅できる。ただし、この場合、高磁界では、磁性材料の磁化の飽和により、 V_H - B 特性に折れ曲がり点が出るが、この限界点以下の磁界では、 V_H - B 特性は良好な比例特性を示す。また、この構造はホール素子の低磁界での高感度化の目的で行われ、不平衡電圧 V_u を増大させないで V_H のみ大きく増幅するという利点がある。これはホール素子の磁気増幅または磁気収束効果と呼んでおり、実用上極めて有用であり、InSbホール素子が低消費電力で高出力が得られる理由でもある。表1には、このタイプの素子の例として、HW-300A形の基本仕様を示した。

現在この特性の素子は、種々のモールド構造のもの

が作られており、モータ用として使用されている。また、このホール素子は、素子自身が消費する電力に対するホール出力電圧の大きさも、ホール素子中で最大である。表2にはこのタイプの素子の特徴をまとめた。さらに、図3には、HW-300A形の外形図を示し、図4、図5には、その基本特性を示した。

12.2.2 高感度InAsホール素子

最近、超高真空中で成長したInAs薄膜をホール素子に用い、磁気増幅構造により、さらに高感度化したInAsホール素子が開発され、DCモータの制御用素子として利用され始めた。⁽³⁾⁽⁴⁾ この素子はInSbホール素子の欠点である抵抗値の温度特性を改善したものと考えてもよく、また、GaAsホール素子の感度を大幅に上げた素子としても考えられる新規素子である。使用に当たっては、定電流、定電圧いずれの方法でも、ホール出

特 徴	効 果
① 高感度素子	低磁界で動作できる
② 定電圧駆動素子	従来のInSbホール素子にない、良好な温度特性を持つ
③ 低消費電力	バッテリー、電池駆動に最適
④ 高信頼性素子	安心して大量に使用できる
⑤ 小形素子	機器の小型化に有利

⇐表2

高感度InSbホール素子の特徴

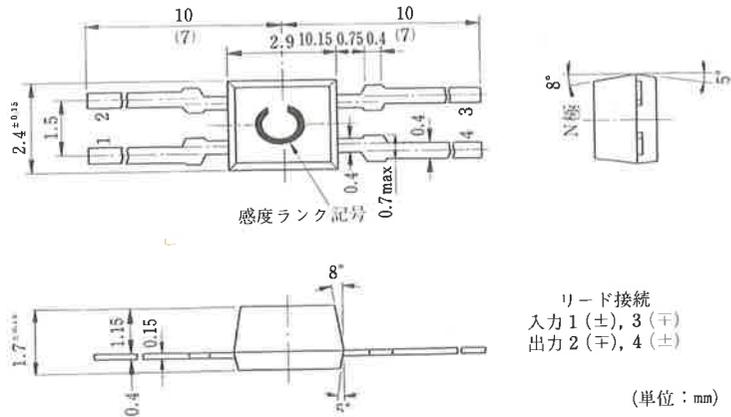


図3 →
高感度InSbホール素子の外形図
(HW-300A)

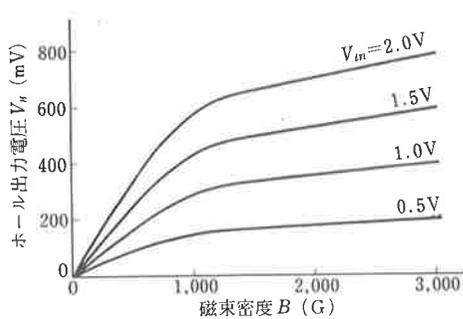


図4 HW-300Aホール素子の V_H - B 特性(定電圧駆動)

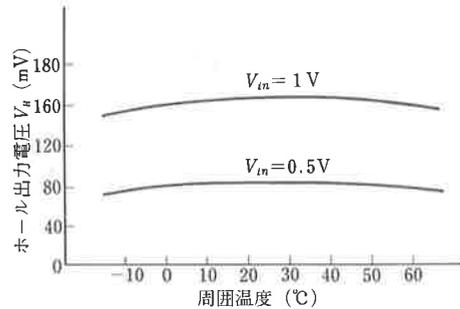


図5 ホール出力電圧の温度依存性(定電圧駆動
HW-300A) 磁束密度一定

表3 高感度InAsホール素子の仕様(HY-300A)⁽³⁾

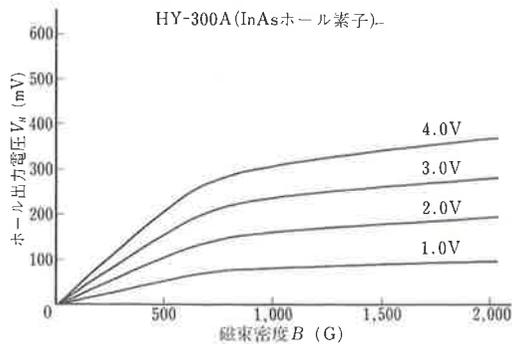
(a) 最大定格

項目	記号	測定条件	定格	単位
最大入力電流	I_c	定電流駆動	15	mA
最大入力電圧	V_{in}	定電圧駆動	4.0	V
動作温度	T_{op}		-45~120	°C
保存温度			-50~150	°C

(b) 電気的特性(測定温度25°C)

項目	記号	測定条件	最小値	標準	最大値	単位
ホール出力電圧	V_H^*	定電圧駆動 $B=500G, V_{in}=3V$	106		236	mV
入力抵抗	R_{in}	$B=0G, I_c=0.1mA$	240		550	Ω
出力抵抗	R_{out}	$B=0G, I_c=0.1mA$	240		550	Ω
不平衡電圧	V_u	$B=0G, V_{in}=3V$	-10		+10	mV
出力電圧の温度係数 (定電圧駆動)	α_{HI}	-45~25°C間の平均 25~120°C間の平均		-0.24 -0.07		%/°C
入力抵抗の温度係数	α_R	-45~25°C間の平均 25~120°C間の平均		0.044 -0.23		%/°C
絶縁抵抗		100V DC		1.0		M Ω

* V_H は、実際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6 HY-300Aホール素子の V_H - B 特性(定電圧駆動)

力電圧の温度変化はそれ程大きくない。表3には、この素子の基本仕様を示した。ホール出力電圧は、InSbホール素子なりに得られるという特徴があり、図6には V_H - B 特性を、図7には V_H の温度依存性を示した。ホール出力電圧の温度変化は少なく、ホール出力電圧も大きい。この素子は、モータに応用すると、モータの高温部での特性改善に有効であると言われており、将来、供給が増え自由に利用できるようなになれば、モータ設計に大きな自由度とインパクトを与えるものと期待される。

12.3 ホール素子技術と応用の動向

モータ用のセンサとして使用されているホール素子の数量では、InSbホール素子が最大であり、ついでGaAsホール素子である。InAsホール素子はスタートしたばかりである。高感度という特徴をもつInSbホール素子、またホール出力電圧の温度特性が最も少ない(定電流駆動で0.1%/deg以下)GaAsホール素子をもつ良い点を生かし、これらの素子のもつ欠点をカバーするのがInAsホール素子であり、将来が期待されている。

さて、現在あるホール素子は、モータ用として非常に多く使用され、これに応えるべく技術的な発展をとげてきた。このようなホール素子技術とその応用が、今後どのように発展していくか、あるいは発展していくべきか、について一言ふれてみたい。

ホール素子はこれまで、単体として使われる例が多く、Siホール素子とSiの回路素子をモノリシックホールICとして集積化したホールICを除くと、集積化されることはあまりなかった。しかし、モータ用として、最近、単体ホール素子とSi回路とを集積化することによって、それまでのホール素子にはない特性を得ようとするものも現われている。このようにホール素子と

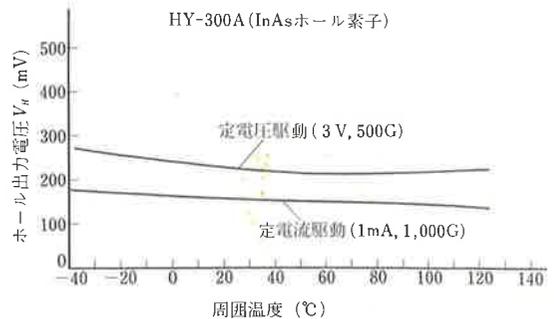


図7 ホール出力電圧の温度依存性(HY-300A)磁束密度一定

回路素子や、異種の固体素子等をハイブリッド的に集積化する試みは、ホール素子技術の今後とるべき方向の1つと考えられる。すなわち、モータ駆動のパワー回路に至るまでも一体化した駆動機能付きセンサ化や、ホールモータ用のインテリジェント機能付きセンサ化である。

さて、モータの回転軸は、動力を生むために、そして利用するために用いられるが、それはまた、モータにより駆動される系の情報を伝え得る媒体として、将来利用される可能性を持っている。このように、駆動される系と駆動する系を一体として考えれば、これらの系の全体を、よりインテリジェントに制御する系としてホール素子やホールモータが用いられることも可能である。そして、このような系の制御素子として、ホール素子がよりインテリジェントに集積化されることも好ましいことである。

ホール素子はこれまで、モータすなわち回転する電動機の制御センサとして発展してきたが、これからは、回転する電動機の制御から、回転する非電動機の制御への応用や、非回転運動系の制御への応用等へと、応用が広がっていくと考えられる。

ホール素子は、VTRやオーディオ機器、さらに情報機器のモータなどへの応用によって、飛躍的な発展をとげてきた。しかし、自動車分野のモータや、回転制御など、まだ十分に応用されてはいない。さらに、回転運動はもちろん、各種の非回転モーションも含む産業用機器の分野への応用はこれからである。

ホール素子が、今後、これらの新規分野も含む、幅広い応用がなされていくためには、高感度化、低い不平衡電圧、高い信頼性の付与、動作域の拡大・素子形状の微小化とそれに伴う実装技術の確立など、いっそうの進歩が要求されると考えられる。

*

薄膜のホール素子として、InSbホール素子およびInAsホール素子について、その現状を述べた。ホール素子の将来の方向としては、インテリジェントな集積化や、電動機の制御から非電動機へ、さらに回転から非回転運動の制御への応用の広がりなどがあり、それに対応したホール素子の課題などについても、将来のイメージの1つを述べた。使う側と作る側のいっそうのコミュニケーションによる技術の進歩を期待している。

参 考 文 献

- (1) 片岡照栄：磁電変換素子，日刊工業新聞社，1972年
- (2) 柴崎：高感度InSbホール素子とその実用化，日化協月報，1988年5月号
- (3) ホール素子カタログ，旭化成電子(株)
- (4) 柴崎：Technical Digest of the 8th Sensor Symp.，電気学会，1989年

【筆者：旭化成工業(株) 柴崎一郎】