

高感度InSbホール素子の 開発と量産化

旭化成工業株式会社

財団法人 大河内記念会 発行

「大河内賞受賞業績報告書」(昭和62年度 第34回) 別刷

高感度InSbホール素子の開発と量産化

旭化成工業株式会社

1. まえがき

ホール素子は、半導体のホール効果により素子に加えられた磁界の磁束密度に比例した電圧信号，すなわち，ホール出力電圧またはホール電圧を取出すよう構成された素子である。

旭化成では，早くから真空蒸着法により，InSb（インジウムアンチモナイド）ホール素子の開発を手がけてきたが，その結果として現在市場で最も多量に使われている「高感度InSbホール素子」を開発した。すなわち，真空蒸着法により， $1.0\mu\text{m}$ 以下にInSbを薄膜化し，かつ高い電子移動度と高いシート抵抗を得る技術を工業的に完成するとともに，フェライトによって，薄膜を上下からサンドイッチする磁気増幅構造を持つ，高感度InSbホール素子（写真1参照）を実現している。

このホール素子は，それまでのInSbホール素子の常識を変えるきっかけとなったものである。高くて，入手しにくい磁気センサ，使いにくい磁気センサ，他のホール素子のイメージを全面的に改め，またホール素子の駆動法として，それまで定着していた一定電流による駆動方式から，現在は広汎に行われている定電圧駆動方式に変えるきっかけとなった。その時以来，直流（DC）ブラシレスモータ用の磁気センサとして大量に使われている。

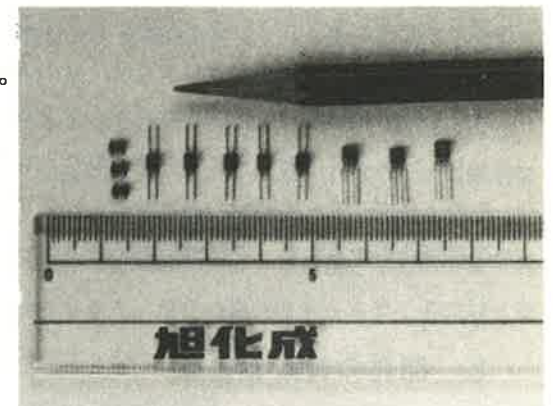


写真1 高感度InSbホール素子

このように旭化成のホール素子が，今日大量に使われる原因を考えると，その背景は次のように考えられる。第1は，少ない入力電圧，例えば1V入力で，かつ通常のフェライトマグネットですぐにつくれる0.5KG程度の磁束密度の磁界中で，100～270mVという大きな出力の得られる高感度であったこと。第2は温度特性の改善である。すなわち，それまでのInSbホール素子は，ホール出力電圧の温度変化が $-2\%/deg$ と非常に大きく，使いにくい最大の原因であった。これに対して，本開発のホール素子は，入力抵抗が350Ω程度で，従来のホール素子と比較して非常に大きな値をもっていた。このためホール素子の入力端子間に1～2Vの定電圧をか

けた状態で駆動できる、いわゆる定電圧駆動法が可能となり、これによって室温付近でのホール出力電圧の温度変化はほとんどなくなった。

そしてモータなどへ応用する場合、ホール出力電圧の温度補正の必要性がなくなり、大幅に使用条件を改善することができた。さらに原因の第3は、低価格で、かつ大量に性能のそろったものを供給できるようになったことである。

また、これら性能、コスト、供給上の問題が解決したことに加えて、ホール素子の信頼性が、Si系の半導体素子並みに向上したことも大量に使用する上で重要な要素となった。すなわち、安心して大量に使用できる高信頼性のホール素子の出現である。この他に、オイルショック後の、LSI技術の大幅な進展の結果、ディスクリットで製作すると非常に高価なホールモータの駆動回路が集積回路化されることにより、大量かつ低価格で作られるようになる状況に至ったこともあげられよう。

また、日本の電気メーカーが、カラーテレビのつぎの大型商品として、VTR開発という大きな方向に動いていたことと、それには小型でノイズの少ない、DC ブラシレスモータの開発が必須であるという大きなニーズがあったこともあげられる。そうした客観情勢の中で要求に十分応えられる資格をそなえた磁気センサとして、本開発の高感度 InSb ホール素子は好感をもって迎えられた。

すなわち、この高感度 InSb ホール素子は、先ずプレーヤーのダイレクトドライブ (DD) 用ホールモータの開発を促し、これによってプレーヤー特性の改善を成功させた。ついで、ビデオテープレコーダ (VTR) のホールモータ化を進めることとなり、その結果、モータの制御性の向上、小型化、低ノイズ化などにより VTR の大幅な性能向上をもたらした。

さらに、この技術は、マイクロカセット、コンパクトディスクのドライブや OA 分野、特にフロッピーディスクのモータにも急速に取り入れられている。

このようにして、本開発の高感度ホール素子は、それまであまり知られていなかった磁気センサの有用性を知らしめ、その地位をエレクトロニクス素子の中に確立することとなった。

2. 開発の背景と目標

昭和 48～49 年当時、旭化成工業㈱では、自動車安全システムとしてのエアバックの起動用の各種センサの開発を手掛けていたが、この開発は、その一つとして磁気センサを取りあげた際、InSb 薄膜ホール素子の磁気センサとしての将来性に着目したことに始まる。

当時、ホール素子としては、単結晶をスライスし、薄く研磨し、厚さを 5～20 μm 程度としたものに電極を付けたものが出回っているのみで、計測用などの特殊な目的でしか使われなかった。さらに、1 個のホール素子の価格も高く、数百円～数千円、またはそれ以上という状況であり、現在のように低価格で、汎用性の高い、高感度の磁気センサとしてのホール素子の入手は、困難な状況にあった。

この頃、オーディオプレーヤーの性能アップ、とくに低ノイズ化とワウフラッターの改善のため、プレーヤー用のモータの DD (ダイレクトドライブ) 化の研究が始まっており、低価格で、かつ高感度のホール素子に対するニーズは非常に強いものがあった。さらにホール素子は、DC モータ用センサとして、将来大きな市場が見込まれるとの予測があり、この分野を狙った高感度ホール素子を開発する計画がスタートし、つぎのような開発の目標が設定された。

すなわち、ホール素子の感度は、使用する半導体の厚みに逆比例して大きくなる。また、電子移動度の大きい材料が良いことから、材料は InSb、薄膜化の技術としては、真空蒸着法をとった。このような条件を考慮して従来にない高感度、高出力でかつ、量産性があり、低価格、小型、高信頼性のホール素子を開発することであった。

3. 研究・開発の経過

昭和 48 年に真空蒸着法による高感度ホール素子を開発を手掛けて、高電子移動度の InSb 蒸着技術の検討、ホール素子の基本構造、試作などの基本技術を検討し、50 年初めには、商品化の基本となる素子構造、基本となるプロセスなどを確立し、高感度 InSb ホール素子を製作するとともに、ユーザー評価をスタートした。その結果、この InSb ホール素子は、ただちにオーディオプレーヤー用 DD モータに最適ことがわかり、さらに開発を本格化するきっかけとなった。

その後、さらに研究を続け、蒸着法の検討、工業的なウエハープロセス技術、信頼性技術などの確立を行い、ユーザー評価を実施し、昭和 55 年 8 月、延岡に高感度ホール素子の量産工場をスタートさせた。

以来、この高感度ホール素子は、VTR 用ホールモータの開発実用化とともに、順調に伸び、また VTR 用のホールモータの磁気センサとして急速に増大する需要に耐えるべく、さらに効率化されたホール素子生産技術が要求された。

このため、57 年よりそれまでの基本技術に、さらに低コストで、かつ大量生産対応の素子設計、ワイヤーボンディングの取入れなどの技術改良を加え、現在の高感度ホール素子を完成させた。表 1 は、高感度 InSb ホール素子開発の経緯をまとめたものである。

表 1 高感度 InSb ホール素子開発の経緯

S. 48 年	InSb ホール素子開発の企画、検討
S. 49 年	InSb ホール素子の基本構造の検討、蒸着条件検討
S. 50 年	オーディオプレーヤー用として市場評価、プレーヤーへの採用決まる
S. 52 年	本格的な量産工場の企画と量産技術開発
S. 55 年	高感度 InSb ホール素子の量産工場スタート
S. 56 年	100 万個 / 月の生産目標達成、ビデオ用の量産スタート
S. 57 年	VTR の落込みにとまらないホール素子生産量減少
S. 58 年	VTR の急速な伸びに伴い、500 万個 / 月の生産量達成
S. 60 年	1.0 億個 / 年の生産量を達成
S. 61 年	1.7 億個 / 年の生産達成、フロッピーディスクドライブ用ホール素子が拡大

4. 研究開発の内容と特徴

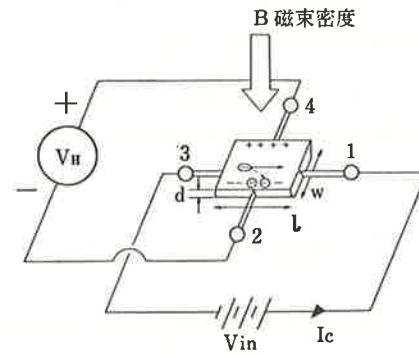
本項では、高感度InSbホール素子の研究開発の内容と開発した技術の特徴などについて詳述する。

4.1 高感度InSbホール素子の動作原理

始めに、ホール素子の駆動原理について述べる。図1は、ホール素子駆動の方法を示したものである。電極1, 3に入力電圧 V_{in} を加えた状態で、外部から磁束密度の磁界を加えると、電極2, 4には、 B に比例するホール出力電圧 V_H が生ずる。定電圧を電極1, 3に加える定電圧駆動では、表2の(1)に示された式に従って、ホール電圧が生ずる。同様に、電極1, 3間に一定の電流 I_c を流す定電流駆動では、同表(2)に従って、ホール出力電圧 V_H が生ずる。

本開発の高感度ホール素子は、通常、定電圧駆動で動作させる。

本開発のホール素子の出現までは、世の中のホール素子は、すべて定電流駆動であった。しかし、本開発のホール素子の出現以来、定電圧でホール素子を駆動することの利点が広く知られ、ホール素子の標準的な駆動法として定着した。



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

表2 ホール素子の動作モード

(1) 定電圧駆動 (V_{in} =一定)	
$V_H = \mu_H \cdot \frac{w}{l} \cdot V_{in} \cdot B$	
V_H	: ホール出力電圧
μ_H	: 電子移動度
B	: 印加磁場の磁束密度
V_{in}	: 入力電圧 (駆動電圧)
(2) 定電流駆動 (I_c =一定)	
$V_H = R_H \cdot \frac{I_c \cdot B}{d}$	
R_H	: ホール係数
I_c	: 入力制御電流

4.2 高感度InSbホール素子の設計、高感度化

本開発のホール素子では、入力電力を増加せずにホール素子の出力を3～5倍に増加させる高

度化構造を実現した。図2は、開発したホール素子の断面構造を示す。

図2に示すように、本開発のホール素子の基本構造は、下部の素子基板を構成するフェライトと、上部に置かれたフェライトチップの中間に作られた $10 \sim 20 \mu m$ の磁気ギャップ中に厚さ $0.8 \sim 1.0 \mu m$ のInSb薄膜からなる感磁層が形成されており、この構造によって、上下のフェライトの形状によって決まる反磁場係数の逆数倍の磁気増幅がなされる。この値は、3～5倍に設計されている。この構成では、一般に800 Gを越える磁束密度の磁界では、フェライトの磁気飽和の影響が現われ、ホール出力電圧の磁束密度の増加に対する直線性が失われるが、高感度ホール素子が必要とされる磁気増幅が必要な低磁界では、使用上の支障にはならない。

このような磁気増幅作用の実現は、真空蒸着によるInSbの薄膜化、高電子移動度の実現と合せて、本開発の素子の基本的特徴をなしている。

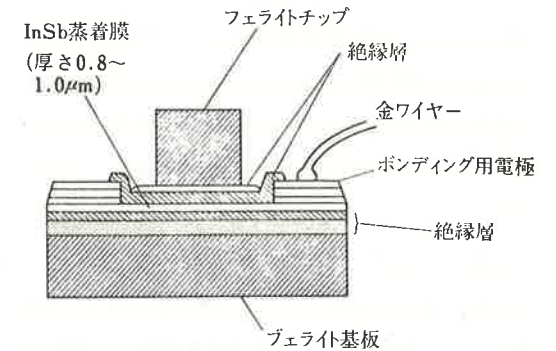


図2 高感度InSbホール素子断面図

この結果、素子応用上重要な、InSbホール素子の従来にない大幅な高感度化を達成した。

4.3 高感度InSbホール素子の製作プロセス

ここでは、InSbの蒸着ホール素子の基本プロセスと真空蒸着について述べる。真空蒸着法では、ホール素子は、まず、高い電子移動度をもつInSb蒸着薄膜を製作し、つぎに、この薄膜をフォトリソエッチングして微小なホール素子パターンを形成し、さらに電極付け、磁気増幅用のフェライトチップのせ、リード線のボンディング、樹脂モールドなどの工程を経て製作される。図3にこのよ

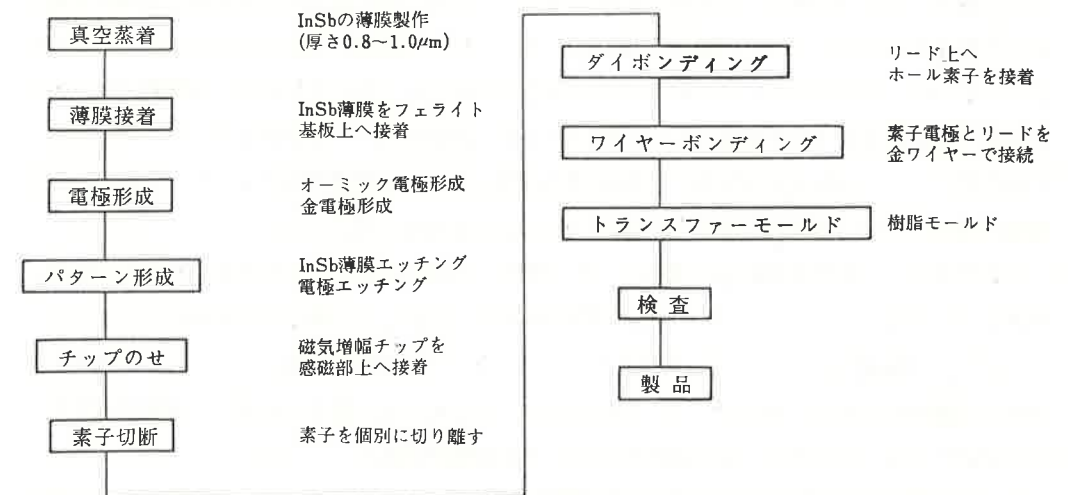


図3 高感度InSbホール素子の製造工程

うなホール素子製作のプロセスのフローチャートを示した。

真空蒸着工程では、ホール素子の基本特性を定めるInSbの薄膜特性が定まり、エッチング工程では、ホール素子の入出力抵抗値、定格特性などが設計値にそって定まり、以降の工程でホール素子のリード線付けや、パッケージ、検査などを行う。

真空蒸着の工程とともに、高感度InSbホール素子特有のプロセスとしてInSb薄膜の接着工程と、フェライトチップ(0.3~0.5mm角の立方体)をのせ磁気増幅構造を製作する工程とがある。

さて、InSbのホール素子を真空蒸着によって製作するときの最大の問題点は、いかにして電子移動度の高い薄膜を得るかである。膜厚が1μm以下で、電子移動度 μ_H が10,000 cm²/V・sec以上のInSb蒸着膜を工業的に得る真空蒸着法として、従来いくつかの若干異なる考え方に基づく方法が提案されていた。いくつかの条件を適当に選ぶことにより、電子移動度 μ_H が、10,000 cm²/V・sec以上のものを製作することが可能である。しかし、いずれも本開発で狙った高電子移動度の膜を製作するための工業技術的生産手法としては、成立していなかった。

InSbの蒸着をとくに難しくしている原因としては、InとSbの蒸気圧の大きな違いがある。このため、通常真空中でInSbの蒸着を行うと、基板上に被着したInSbの薄膜内で、InとSbの原子比率が1:1すなわち、いわゆる化学量論的組成にならず、そのため形成された薄膜の半導体特性が極端に低下してしまうという問題があった。また、もう一つの問題は、蒸着によって作られる薄膜は多結晶であり、この結晶粒子の大きさが半導体特性を大きく左右するが、この結晶粒子の状態が蒸着条件によって大きくかわる点であった。従って、これら半導体特性を左右する因子を適切に制御しないと良特性のInSbの蒸着膜は得られない。

このように、InSb薄膜を真空蒸着によって形成するには、困難な問題が多く、本開発においては、高感度InSbホール素子用の薄膜を大量に、かつ低コストで生産する工業的技術の新規開発が必要であった。このため、大型の真空装置の検討、真空中での薄膜形成条件の検討、基板の選択などの数多くの条件を検討した結果、高感度InSbホール素子用の独自の工業的真空蒸着法を確立し、それまで不可能であった、厚さ1.0μm以下で、シート抵抗が100~200Ω、かつ電子移動度20,000~30,000 cm²/V・secのInSb薄膜の製造が可能となった。すなわち、本開発では、InSbの高電子移動度薄膜をうる方法として、薄いマイカを基板に用い、蒸発源としていくつかのポートを使用、かつ、基板温度を被着するInSb薄膜の厚さに応じて最適制御することによって、化学量論的組成に近い高電子移動度のInSb薄膜を得る方法を開発した。

この方法は、工業的に多結晶の薄膜で、かつ厚さ1.0μm以下という薄さにもかかわらず電子移動度20,000 cm²/V・sec以上のものが比較的容易に、安定して生産できる特徴をもっている。

つぎに、この方法で作られたInSb薄膜の特性をみる。図4には、厚さ1.0μmのInSb蒸着膜の電子移動度の温度依存性を示した。この図からわかるように、電子移動度は、室温付近ではあまり変化しない。低温度で、電子移動度は少し下がる傾向がある。

この電子移動度の室温付近での良好な温度特性によって、本開発の蒸着ホール素子は、定電圧入力を行って駆動する場合、表2の(1)により良好なホール電圧の温度特性を示すことが予想で

きる。

図5にホール係数の温度依存性を示した。このホール係数の温度依存性は、温度上昇にともなう伝導帯の電子濃度増加に起因する。

さらにこうして製作したInSb蒸着膜のシート抵抗は、100~200Ω程度である。従って、このInSb薄膜を用いると、ホール素子の入力抵抗値を数百オームに設計でき、定電圧駆動ができるホール素子が簡単につくれる。また、このように素子抵抗値が大きいと、駆動電流も少なくすみ、ホール素子の消費する電力も少ない。この点は、他の材料や単結晶を用いてはできない性質であり、高感度InSbホール素子の大きな特徴の一つとなっている。

4.4 高感度InSbホール素子の特性

高感度InSbホール素子の特性を示す例として、HW-300Aの仕様を表3に示した。図6は実際に使われる定電圧駆動の場合のホール出力電圧と磁束密度との関係(V_H -B特性)を示す。これからわかるように、ホール出力電圧の磁束密度比例がフェライトの磁化の飽和により、1 K.G.付近で折れ曲がる。

この V_H -B特性で、磁束密度に対するホール出力電圧の比例域は、一般には、磁気増幅率で違ってくる(この磁気増幅率は、素子設計で決まる)。通常は、若干の余裕をみて500~800 Gの範囲でこの比例域の上限を決めている。DCモータなどにホール素子を使用する場合の磁界の磁束密度は、ほとんどの場合、このホール素子の比例域内にある。

小型モータでは、ホール素子を磁束密度の大きい場所に置くことが設計上難しい場合も多く、低磁界で高出力電圧が要求される。このような使用上の条件下では、 V_H -B特性の比例域は、低磁界であり、磁気増幅による高感度化が必要となる。HW-300Aホール素子は、このような使用上の要求に対して十分に應えるよう基本性能が設計されている。

さて、図7、図8は、HW-300Aホール素子のホール出力電圧の温度依存性を示したもので

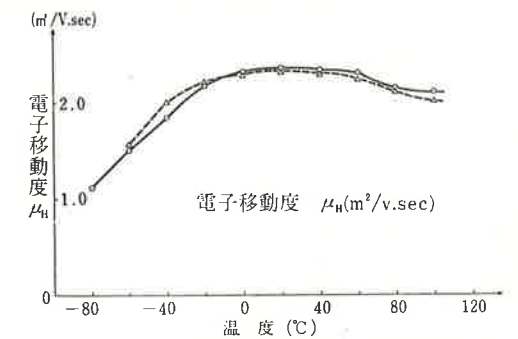


図4 InSb蒸着膜の電子移動度の温度依存性

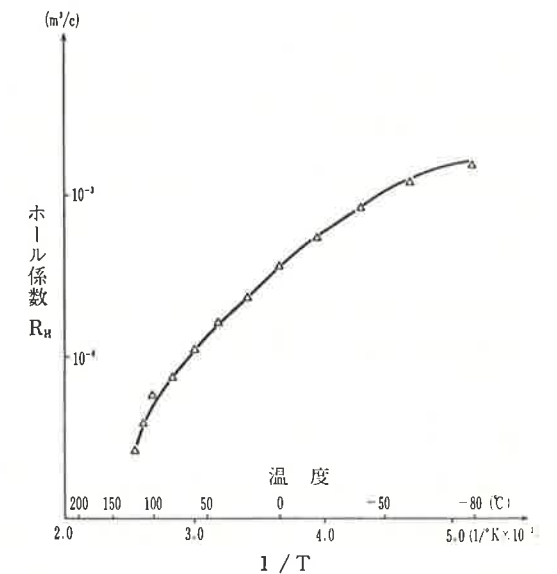


図5 InSb蒸着膜のホール係数の温度依存性

ある。

表3 高感度InSbホール素子の仕様（HW-300A，磁気増幅型）**

(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			-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 = 500 G, V _{in} = 1 V	122		274	mV
入力抵抗	R _{in}	B = 0 G, I _c = 0.1 mA	240		550	Ω
出力抵抗	R _{out}	B = 0 G, I _c = 0.1 mA	240		550	Ω
不平衡電圧	V _U	B = 0 G, V _{in} = 1 V	-7		7	mV
出力電圧の温度係数	α _{H1}	20℃基準 0～40℃間の平均 B = 500 G, I _c = 5.0 mA			-2	%/℃
入力抵抗の温度係数	α _R	20℃基準 0～40℃間の平均 B = 0 G, I _c = 0.1 mA			-2	%/℃
絶縁抵抗		100 V D.C.	1.0			MΩ

* 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。

** 旭化成電子(株)ホール素子カタログより引用

図7には、応用上重要なホール出力電圧の定電圧駆動時の温度特性を示し、図8には、定電流駆動における出力電圧の温度特性を示した。

ここで明らかのように、定電流駆動の場合は、ホール電圧の温度依存性は大きいが、これは、ホール係数の温度依存性と対応するものであり、通常

$$\frac{1}{V_H} \cdot \left(\frac{dV_H}{dT} \right)_{I_c = \text{一定}} \approx -1.9\% / \text{deg}$$

である。

一方、図7に示された定電圧駆動の場合の温度依存性は室温付近でフラットである。これは、前述の電子移動度の温度依存性に依存している。実際、温度係数は、

$$\frac{1}{V_H} \cdot \left(\frac{dV_H}{dT} \right)_{V_{in} = \text{一定}} = +0.18\% / \text{deg} \text{ (低温部) および } -0.17\% / \text{deg} \text{ (高温部)}$$

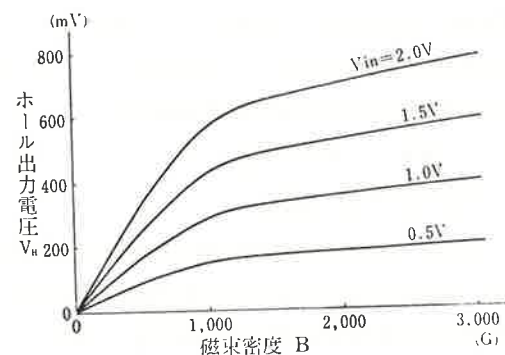


図6 HW-300Aホール素子の V_H-B 特性（定電圧駆動）

であり、極めて良好な温度特性である。この特性は、従来の技術では実現されなかったものである。HW-300Aホール素子では、このように良好なホール出力電圧の温度依存性を実用素子特性として得るために設計上重要な考慮がなされており、ホール素子の実用性を高める大きな特徴となっている。すなわち、InSbの蒸着膜の高いシート抵抗を利用し、ホール素子の入力抵抗値が、定電圧駆動を行いやすいよう高抵抗値（数百Ω以上）で設計されていることである。

この条件は、InSbの蒸着膜厚を1μm以下とし、高いシート抵抗値を得るとともに、ホール素子の感磁部パターンの最適設計を行って、実用素子として初めて実現できた。

最後に高感度InSb蒸着ホール素子のもう一つの重要な特徴は、高いホール出力電圧が得られ、低消費電力なことである。これは、駆動電流が少ないという特徴でもあり、使用上、きわめて有利である。とくに、電源が小さい状況でホール素子を駆動するのに有利である。

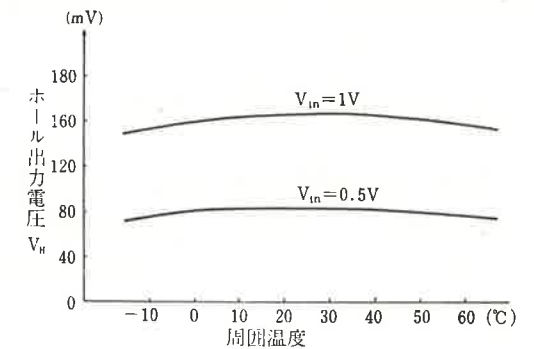


図7 ホール出力電圧の温度依存性（定電圧駆動 HW-300A）磁束密度一定

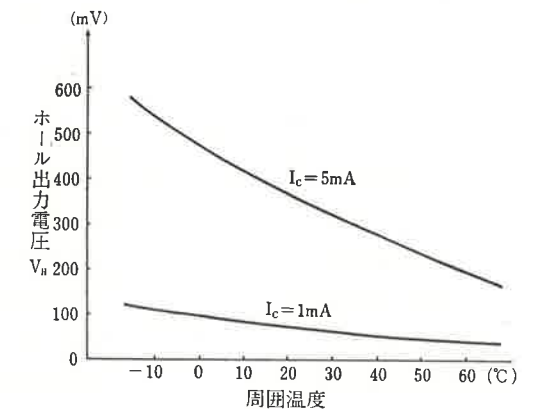


図8 ホール出力電圧の温度依存性（定電流駆動 HW-300A）磁束密度一定

5. 研究開発の成果

本技術の開発の成果として、高感度で、かつ高信頼性のInSbホール素子が開発されるとともに、大量生産が可能となった。この素子は、消費電力が少なく、小型で、従来の素子に比較して、高感度かつ定電圧駆動を実現し、温度依存性を大幅に改善した。

このため、小型直流モータの回転子の位置を磁界の変化により検出するセンサーとして利用され、さらにこの新素子の出現により、センサー出力によって回転の制御を行う、いわゆるホールモーターが実用化した。

このホールモータは、まずオーディオプレーヤに、ついでビデオテープレコーダに採用され、現在は、マイクロカセット、コンパクトディスク、各種OA機器用のフロッピーディスクなどの駆動用に急速に、かつ大量に使用されつつある。また、本開発の素子によって、ホール素子は磁気センサとして電子工業の分野で確固たる地位を得たということができ、昭和61年には推定3億

個が生産されたが、このうち本開発によるものは1億7千万個に達している。

6. 開発成果の発表、特許など

本技術に関する特許出願は13件、そのうち登録済み8件、また対外発表は5件である。表4には特許出願のリストを示した。また対外発表は以下に記した。

表4 出願特許リスト

(a) [日本出願]

特 願 昭	登 録 番 号	発 明 の 名 称	発 明 者
48-138955	871491	ホール素子及びその製造方法	野中, 須藤
50-51917	964625	ホール素子及びその製造方法	野中, 柴崎, 清水
50-57590	1003906	高積感度型ホール素子	野中, 柴崎, 清水
50-71173	972366	ホール素子及びその製造方法	野中
51-19421	1019214	半導体製品の製造方法	酒井, 清水, 福島, 野中
53-95797	1091939	磁電変換素子要素材の製造方法	柴崎, 野中, 加藤
55-25668	—	超小型ホール素子	柴崎
57-34602	—	磁電変換素子及びその製造法	柴崎
59-66550	—	磁電変換素子	柴崎
60-99395	—	磁電変換素子	柴崎
60-99396	—	磁電変換素子	柴崎

(b) [外国出願]

国	出 願 番 号	登 録 番 号	発 明 の 名 称	発 明 者
米	594974	4021767	ホール素子及び その製造方法	野中, 須藤
西独	P2530625	2530625		

- 1) ホール素子を応用した磁気センサー, 電子科学, 1980年11月号 p.41
- 2) 磁気センサーの注目技術, 経営システム研究所
- 3) 半導体素子の先端技術集成, p.373 経営システム研究所
- 4) 日本化学会, 第49回春季年会予稿集 1984年, 磁気抵抗素子, 特3304
- 5) 電子機械工業会, 第20回電磁気センサ小委員会資料, 1987年7月

7. あとがき

ホール素子は、半導体素子の中ではごく最近その応用が拡大した素子であり、とくにオーディオ用のモータやVTRのモータの駆動用センサとしての用途が多い。

旭化成において開発された高感度蒸着 InSb ホール素子は、低電力消費、高感度などのいくつかの優れた特徴を有しており、特に定電圧駆動素子が達成されてそれまで問題視されていた InSb ホール素子の温度特性の問題が解消した。このことにより、精密モータなどを中心として、応用が拡大しつつあるが、上記の如き特徴を生かして、新規な応用や新しいデバイス設計などにより、一層の進歩が期待される。そのためには、製作する側からも使う側からも新しい考え方、アイディアなどをこれからも積み重ねていくことが必要である。

さらに、ホール素子そのものについても、今後ますます用途の拡大に伴い、改良、性能アップなどが要求されており、将来が期待されている状況である。