

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 05 月 31 日現在

機関番号：32714
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560373
 研究課題名（和文） フィルムボンディング技術を用いた 3 次元磁気センサー
 モジュールに関する研究
 研究課題名（英文） Study on three dimension magnetic sensor module using film bonding
 technology
 研究代表者
 黄 啓新 (KOH KEISHIN)
 神奈川工科大学・創造工学部・教授
 研究者番号：30257414

研究成果の概要（和文）：

本研究では、犠牲層エッチング技術を用いて、化合物半導体である GaAs 薄膜を誘電体基板や Si 等他の基板上にボンディングし、平面構造上で x、y、z 方向の配置ができ、信号処理回路との集積化が可能、小型化・空間高分解能をもつ三次元磁気センサーアレイの作製技術を開発した。我々は要素技術である貫通電極形成技術、三次元センサーアレイパターン形成技術、層間絶縁薄膜の形成技術の条件を検討した。その上で三次元磁気センサーを作製し、基本特性を評価した。実験結果は本技術の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In order to estimate the magnetic properties of superconducting materials, the three-axis magnetic sensor with small size and planar structure is necessary. We propose the novel fabrication technology of three-axis magnetic sensor based on Hall sensor using semiconductor film bonding technologies, in which the GaAs semiconductor film was released from mother substrate, and bonded it on the metal electrode surface formed on the dielectric or Si substrate, and x,y,z axis Hall sensor was fabricated. We investigated the process conditions such as the fabrication conditions of through substrate Via, fabrication conditions of three-axis Hall sensor, and estimated the basic characteristics of the three-axis Hall sensor. The results indicated possibility of the technology.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：化合物半導体、犠牲層エッチング、磁気センサー、ホールセンサー、三次元、薄膜ボンディング、貫通電極、

1. 研究開始当初の背景

磁気センサーは空間磁界測定、モーター制御など多岐にわたって活用され、様々なものが開発されている。その中では、超伝導線材評価に使われている近接測定が可能で、且

つ高空間分解の三次元磁気センサーが最も期待されている。しかし、ホール効果に基づく三次元磁気センサーを実現するためには、通常、1次元磁気センサーは空間的に三次元配置し、実装したものが多くて、寸法が大き

く、空間分解能は低くて、 μm オーダー寸法の三次元磁気センサーの実現が非常に困難となっている。そこで、われわれは半導体の製造技術と実装技術を融合するフィルムボンディング技術を用いて、基板平面に直接三次元磁気センサーを作製でき、理論的に μm 寸法オーダー以下を有する磁気センサーを実現することができる。また、貫通電極技術を用いて、信号処理回路基板との集積化ができ、近接測定可能なセンサーも実現できる。

2. 研究の目的

本研究は、超伝導線材の特性を評価するための近接測定が可能で、小型の三次元磁気センサーモジュールを実現するために、以下のことを検討する。

(1) 誘電体基板の貫通電極の形成技術とデバイス実装への応用技術を検討する。

(2) フィルムボンディング技術による三次元磁気センサーモジュールの作製技術を開発する。それぞれの工程におけるプロセス条件の最適化を検討する。

(3) 三次元磁気センサーアレイの計測技術を検討し、簡易な計測方法を確立する。

(4) 高感度なホールセンサーエピタキシャル薄膜材料と多層構造のホールセンサー薄膜の犠牲層エッチング技術を検討する。

3. 研究の方法

三次元磁気センサーモジュールのイメージは図1に示し、誘電体基板やSi基板上に三次元磁気センサーが作製され、貫通電極によって、信号処理基板と集積することができる。また、図2に誘電体基板やSi半導体基板上に作製するホール効果に基づく三次元センサーアレイの構造図を示す。ホールセンサーは構造が簡単で、集積化しやすい利点があるからである。ここで一番大事なことはGaAs薄膜をフィルムボンディングによって、下部電極の上にボンディングすることである。これによって、xとy軸方向のホールセンサーを簡単に作製することができる。作製技術の要素技術として、貫通電極形成技術、三次元センサーアレイパターン形成技術、層間絶縁薄膜の形成技術、センサーアレイの計測技術、高感度のホールセンサーの材料検討等がある。具体的な検討方法は以下に示す。

(1) 貫通電極形成技術

貫通加工技術と貫通後の電極形成技術を含めた貫通電極形成技術が本研究では非常に重要な要素技術である。薄膜ボンディング技術の観点から、誘電基板と半導体薄膜の結合力が比較的良好なので、Si基板以外に、誘電体基板も本研究の対象となる。誘電体基板は厚くて、硬いので、Si基板の貫通加工法はその技術の観点から、誘電基板と半導体薄膜の結

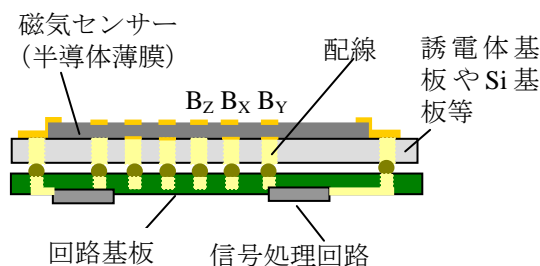


図1 三次元磁気センサーモジュール

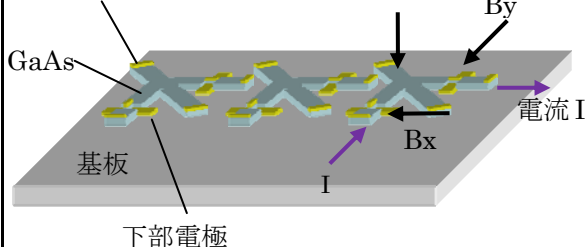


図2 誘電体基板上に作製する三次元磁気センサーアレイの構造図

合力が比較的良好なので、Si基板以外に、誘電体基板も本研究の対象となる。誘電体基板は厚くて、硬いので、Si基板の貫通加工法はそのまま使用できないため、サンドブラストという低コストの方法を用いて、誘電体基板の貫通穴を加工した。この加工方法として、 μm サイズの Al_2O_3 粒子を使って、基板の両側から高速粒子を基板側に打ち、基板に穴をあける。また貫通電極を形成するには、低コストを意識し、スパッタリングにより基板の両側から電極材料を蒸着し、基板上下の電極を接続するように実験した。

(2) 三次元センサーアレイパターン形成プロセス

図3に提案した三次元センサーの作製プロセス工程を示す。具体的には

①ボンディング基板上への下部電極を形成する工程で、GaAs薄膜と基板との結合力を強化するため、電極の厚さをできるだけ薄くするほうがいい。

②三次元磁気センサーに必要な形状を形成するための工程で、今回、プロセスが簡単で、手軽にすぐできるウェットエッチングを使用した。パターン形状の不規則性を考慮し、2回エッチング方法を開発し、最小幅が $5\mu\text{m}$ のパターンが得られた。

③上部電極を形成する工程で、良好なオーミック特性を得るために、金属の厚みは重要なパラメータであった。

④配線用のパッド電極を形成するために、上下電極間に層間絶縁層を形成する工程で、

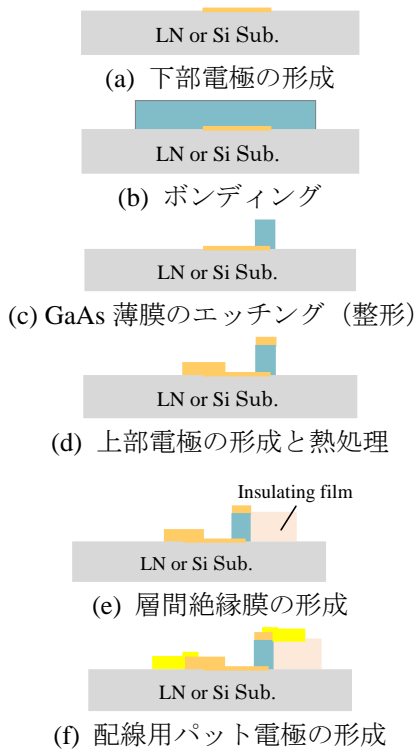


図3 3次元磁気センサー作製プロセス

段差カバレッジの良さから、今回低温 CVD による SiO_2 の製膜方法を検討した。

(3) 高感度ホールセンサーを実現するためのエピタキシャル薄膜材料と多層薄膜材料の犠牲層エッチング

3次元の磁気センサーの感度を向上するために、キャリアの移動度が速い AlGaAs ヘテロ構造を有する半導体フィルムが適している。犠牲層エッチング手法によるボンディング技術を使用する場合、 AlAs 層は犠牲層として利用されているので、 Al と Ga の比率を決めることは重要である。実験では、図4(a)に示すエピタキシャル薄膜構造を用意し、最適な犠牲層条件を検討した。またホールセンサーの寸法を小さくするために、図4(b)のような多層レイヤー構造を使用することも提案し、その薄膜の犠牲層エッチング条件を検討した。

(4) LabVIEW を活用したホールセンサーアレイ特性評価システムの構築

3次元磁気センサーアレイは、電流端子と電圧端子の数は比較的多いので、特性を評価するときに多くの電圧計等が必要となる。また、ホール電圧より磁束密度を求めるときにマイコンによる計算も必要である。コスト面から、汎用的な測計システムが望ましい。今回 LabVIEW 計測システムを使用した。このシステムの特徴として、センサーの数に応じて、計測キットが自由に増減でき、信号処理方法はユーザーの要求に柔軟に対応でき、特

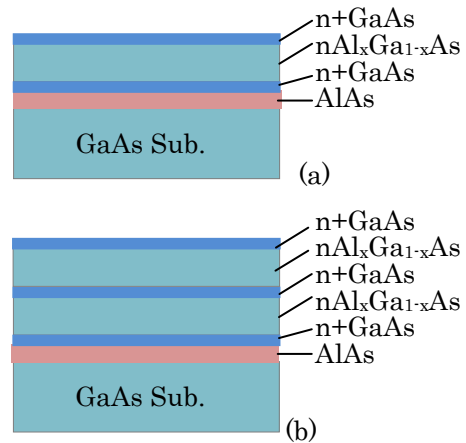


図4 エピタキシャル薄膜構造

別な計測プログラムを作成せずに、センサーの感度に合わせて測定条件を設定することができた。また GUI によりパソコン画面上にすぐ結果が表示できる。今回五つのセンサーを使用する計測プログラムを構築した。

4. 研究成果

(1) 図5は厚さ 0.3mm の水晶基板をもって、サンドブラストにより加工できた貫通穴の形状で、 a と b のサイズはそれぞれ 0.224mm と 0.109mm で、一番狭い部分は大体基板の中部にあった。現時点で、加工できる一番小さい穴のサイズは約 $50\mu\text{m}$ であった。また貫通電極の厚さは 300nm 以上であれ、厚さ 0.3mm 、直径 0.2mm の貫通穴に対して、抵抗は約 0.13Ω であった。この技術を用いて、図6(a)のような構造を持つ弾性波表面デバイスの実装を行った。図6(b)に示したフェースとフェースボンディングにより実現した実装体積が一番小さい弾性波デバイスのチップ写真で、デバイス特性を評価し、良い結果が得られた。

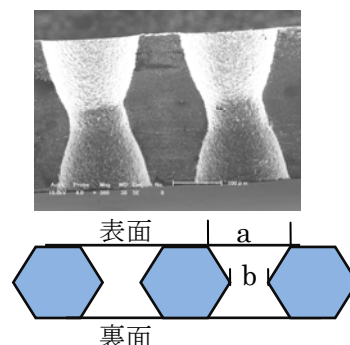


図5 エピタキシャル薄膜構造

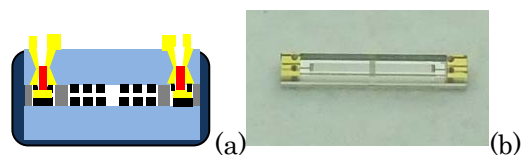


図6 貫通電極により実装したデバイス

(2) 三次元磁気センサーの主なプロセス条件は表 1 に示す。n+GaAs (50nm 10¹⁸cm⁻³)/nGaAs (3000nm 10¹⁷cm⁻³)/n+GaAs (50nm 10¹⁸cm⁻³)を用いて、センサーを試作した。その寸法はそれぞれ x 軸が 6μm × 30 μm × 3 μm、y 軸も 30 μm × 6μm × 3 μm、z 軸が 30 μm × 30μm × 3 μm であった。バイアス電流は 5mA で、印加した磁束密度は 0~17mT の範囲で変化するとき、それぞれのセンサーのホール電圧はほぼ線形的に変化している。図 7 は測定したホール電圧と印加磁場の強さのグラフである。直線関数でフィッティングすると、相関はほぼ 0.999 であった。また、17mT の磁束密度をかけ、バイアス電流を 1mA~5mA 変えて、ホール電圧を測定した。電流変化に対するホール電圧の線形性が得られた。パターン A のセンサー感度に関して、それぞれ x 軸が 0.3Ω/G で、y 軸が 0.4Ω/G で、z 軸が 0.9Ω/G であった。

表 1 主なプロセス条件

下部電極の厚さ	Au-Ge-Ni, 20-30nm
上部電極の厚さ	Au-Ge-Ni, 100 -120nm
熱処理条件中	370 -380 °C 1分. N ₂ 中
SiO ₂ 作製条件	ガスは Ar:O ₂ :SiH ₄ =16:13:7、 RF パワー：700W 基盤温度 40~80°C 膜の厚さ：3μm

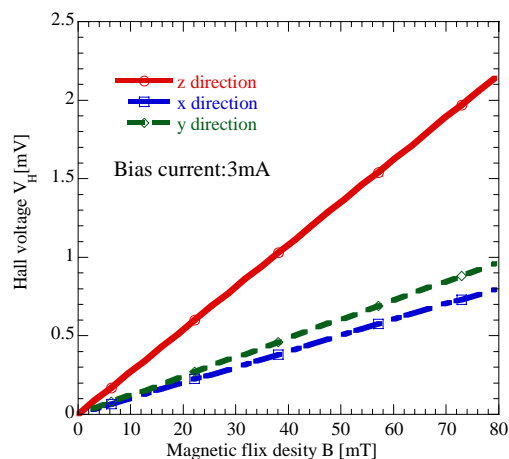


図 7 3次元磁気センサー基本特性

(3) AlGaAs 系エピタキシャル薄膜の犠牲層エッチング実験の結果として、Al_xGa_{1-x}As 系の薄膜において、x は 0.3 以下なら、AlAs 膜と Al_xGa_{1-x}As 膜のエッチングレートを選択比は 10⁶ 以上あり、犠牲層エッチングは問題なくでき、Al_xGa_{1-x}As 膜を剥離し、ボンディングすることができた。さらに、2 層エピタキシャル薄膜構造である n+GaAs(50nm 10¹⁸cm⁻³)/nGaAs(3000nm 10¹⁷cm⁻³)/ n+GaAs

(50nm 10¹⁸cm⁻³) / nGaAs(3000nm 10¹⁷cm⁻³)/ n+GaAs (50nm 10¹⁸cm⁻³)/AlAs を用いて、犠牲層エッチングとボンディングの条件を確立した。単層薄膜に比べ、WAX の厚みが同じなら、エッチング時間は倍以上かかり、WAX の厚さは半分ぐらいの時、エッチング時間は単層膜の 1.6 倍となったことが分かった。

(4) 汎用な計測システムに関して、NI9219 を 4 台、NI9263 を 1 台使用し、五つの磁気センサーに対応した特性の評価・計測システムを構築した。バイアス電流は数十 mA~数十 μA まで設定でき、電圧は数十 mV~数十 μV まで測定できた。対応できる磁束密度の範囲は約数百 μT~数十 mT であった。また、測定条件の設定や測定結果の表示もパソコン画面でクリックだけで操作できるようになり、非常に使いやすくなった。測定できるチャンネル数は現在 1 キットで 24 個となった。キット数を増やせば、対応できるセンサーの数も増える。コスト面に関して、通常の同種類の計測機器より安くなった。

本研究は薄膜ボンディングというローテクノロジーを用いて、国内外で初めてホールセンサー材料の母体基板以外の基板（誘電体基板や他の半導体基板）上に平面構造を有する三次元ホールセンサーを作製し、基本特性が得られた。結果よりこの手法を用いてセンサー信号処理回路基板上にセンサーを集積する可能性を示している。また、化合物半導体を使用することで、低温においても動作ができるホールセンサーが実現でき、将来超伝導導線や線材の特性を評価するシステムへの活用が期待できる。更に、現在実用化された磁気センサーは高価な化合物系なので、本技術を利用すると、基板そのものが再利用可能であるため、センサーのコストを下げるだけでなく、資源の節約にも貢献する。今回、センサーの寸法は比較的に大きいので、将来試作レベルのアップにより、μm オーダーのものは実現できる。また、本研究に使用される研究アプローチである異種薄膜材料のボンディング技術は他の新たな異種材料機能モジュール、機能部品の作製にも参考になると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

(1) 野口大介、黄啓新、三栖貴行、”半導体薄膜ボンディングによるホールセンサーアレイの作製”，第28回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム論文集，査読有，CD media, pp248-252, 2011

(2) 黄啓新、野口大介、三栖貴行, ” フィルムボンディング技術を用いた3次元磁気センサーの作製技術”, 第27回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム論文集, 査読有, CD media, pp239-242, 2010.

(3) K. Koh, H. Okitsui and K. Hohkawa, ” Fabrication of SAW Devices with Small Package Size Using Through Substrate Via Technology”, 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 査読有, CD media, pp2688-2691, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黄 啓新 (Koh Keishin)

神奈川工科大学・創造工学部・教授

研究者番号 : 30257414