

Title	磁性元素を添加したAIN薄膜の物性
Author(s)	佐藤, 隆信
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49515">https://hdl.handle.net/11094/49515</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	佐藤隆信
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第22941号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学位論文名	磁性元素を添加したAlN薄膜の物性
論文審査委員	(主査) 教授 中谷 亮一 (副査) 教授 掛下 知行 教授 荒木 秀樹

## 論文内容の要旨

本論文は、室温動作可能な半導体スピントロニクスデバイスへの応用が期待されている磁性元素を添加したAlN薄膜の結晶構造と磁気挙動について検討を行ったものであり、以下の7章から構成される。

第1章では、本研究の背景および本研究の目的について述べた。

第2章では、本研究における磁性元素を添加したAlN薄膜の作製方法、結晶構造の評価方法、磁気挙動の評価方法、化学状態の評価方法および組成評価方法について述べた。

第3章では、Vを添加したAlN( $Al_{1-x}V_xN$ )薄膜における結晶構造と磁気挙動について検討した。Vを添加したAlN薄膜では、V濃度に依存せず、10 Kから300 Kの温度範囲で、常磁性挙動を示した。この常磁性挙動は、 $V^{3+}$ のイオンを仮定したBrillouin関数により再現することができた。

第4章では、Mnを添加したAlN( $Al_{1-x}Mn_xN$ )薄膜における結晶構造と磁気挙動について検討した。Mnを添加したAlN薄膜では、Mn濃度に依存して、磁気挙動が変化した。Mn濃度  $x \leq 0.10$  の範囲では、 $Al_{1-x}Mn_xN$ 薄膜は10 Kから300 Kの範囲で常磁性挙動を示し、帯磁率の温度依存性はCurie-Weiss則に従った。Mn濃度  $x = 0.17$  では、10 Kにおいて、残留磁化および保磁力を持つ磁気挙動を示し、20 K付近で常磁性挙動を示した。Mn濃度  $x = 0.24$  では、磁化値が低く、磁化の温度依存性に乏しい磁気挙動を示した。

第5章では、Coを添加したAlN( $Al_{1-x}Co_xN$ )薄膜における結晶構造と磁気挙動について検討した。Coを添加したAlN薄膜においても、Co濃度に依存して、磁気挙動が変化した。Co濃度  $x \leq 0.10$  の範囲では、 $Al_{1-x}Co_xN$ 薄膜は10 Kから300 Kの範囲で常磁性挙動を示した。Co濃度  $x \geq 0.14$  の範囲では、 $Al_{1-x}Co_xN$ 薄膜は超常磁性挙動を示した。Co濃度  $x \geq 0.17$  の範囲では、ZFC後の磁化の温度依存性においてピークが観測され、そのピーク温度は、Co濃度  $x = 0.17$  の場合は6 Kで、Co濃度  $x = 0.25$  の場合は9 Kであった。

第6章では、種々の基板温度 ( $T_s = 473 \sim 773$  K) および $N_2$ 混合比 ( $Ar : N_2 = 5 : 5 \sim 8 : 2$ ) を採用して、熱酸化Si(001)基板およびサファイア(0001)基板上にMnを添加したAlN( $Al_{1-x}Mn_xN$ ,  $x = 0.03, 0.04$ )薄膜を作製し、これらの作製条件がMnを添加したAlN薄膜の結晶構造、磁気挙動および化学状態に与える影響について検討した。熱酸化Si(001)基板に作製した $Al_{0.96}Mn_{0.04}N$ 薄膜は、基板温度に依存せず、10 Kから300 Kの温度範囲で常

磁性挙動を示した。一方、サファイア(0001)基板上に作製した $\text{Al}_{0.97}\text{Mn}_{0.03}\text{N}$ 薄膜は、基板温度および $\text{N}_2$ 混合比に依存せず、10 Kから300 Kの温度範囲で、常磁性挙動に加えて、わずかに強磁性挙動を示した。この基板に依存した磁気挙動の違いは、Mnの化学状態の違いに関連しているものと考えられた。

第7章では、本研究で得られた結果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、スピニエレクトロニクス・デバイスへの応用が期待されている、磁性元素を添加した AlN 薄膜の結晶構造と磁気特性について検討を行ったものであり、以下の知見を得ている。

(1) 熱酸化 Si 基板上に形成した AlN 薄膜に V を添加した  $\text{Al}_{1-x}\text{V}_x\text{N}$  薄膜における結晶構造について検討した結果、10% 以下の V 濃度では、 $\text{Al}_{1-x}\text{V}_x\text{N}$  薄膜は AlN と同じワルツ鉱型結晶構造を維持し、V は AlN 薄膜に完全に固溶していることを明らかにしている。また、 $\text{Al}_{1-x}\text{V}_x\text{N}$  薄膜は、10 K から 300 K の範囲で常磁性を示し、 $\text{V}^{3+}$ イオンを仮定した Brillouin 関数により常磁性挙動を説明できることを明らかにしている。

(2) 熱酸化 Si 基板上に形成した AlN 薄膜に Mn を添加した  $\text{Al}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  薄膜における結晶構造について検討した結果、10%以下の Mn 濃度では、 $\text{Al}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  薄膜は AlN と同じワルツ鉱型結晶構造を維持し、Mn は AlN 薄膜に完全に固溶していることを明らかにしている。また、 $\text{Al}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  薄膜は、10 K から 300 K の範囲で常磁性を示し、帯磁率の温度依存性は Curie-Weiss 則に従うことを明らかにしている。

(3) 熱酸化 Si 基板上に形成した AlN 薄膜に Co を添加した  $\text{Al}_{1-x}\text{Co}_x\text{N}$  薄膜における結晶構造について検討した結果、10%以下の Co 濃度では、 $\text{Al}_{1-x}\text{Co}_x\text{N}$  薄膜は AlN と同じワルツ鉱型結晶構造を維持し、Co は AlN 薄膜に完全に固溶していることを明らかにしている。また、 $\text{Al}_{1-x}\text{Co}_x\text{N}$  薄膜は、10 K から 300 K の範囲で常磁性を示すことを明らかにしている。

(4) AlN 薄膜に Mn を添加した  $\text{Al}_{1-x}\text{Mn}_x\text{N}$  薄膜を、熱酸化 Si (001) 基板およびサファイア (0001) 基板上に形成し、その微細構造について詳細に検討した結果、それぞれの薄膜は、膜面垂直方向に c 軸の揃う優先配向を有することを明らかにしている。また、熱酸化 Si 基板の薄膜は、面内の結晶配向性は示さず、サファイア基板の薄膜は、AlN(1010)// $\text{Al}_2\text{O}_3$ (1120)のエピタキシャル関係を有していることを明らかにしている。

(5) 熱酸化 Si 基板の薄膜は、10 K から 300 K の範囲で常磁性を示すのに対し、サファイア基板の薄膜は、弱い強磁性を発現することを明らかにしている。この磁気特性の違いは、上述の微細構造の変化に依存した Mn の平均価数の変化が原因であり、添加元素の化学状態を制御することが磁気特性の制御に極めて重要であることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、種々の遷移金属を添加した AlN 薄膜の微細構造および磁気特性について明らかにし、強磁性発現の条件を明確にしたものである。従って、本論文は、学術的知見のみならず、新しいスピニエレクトロニクス・デバイスの実用化に寄与する材料学的知見を多く含んでおり、材料工学の進展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。