

京都大学	博士（工学）	氏名	金子健太郎
論文題目	コランダム構造酸化ガリウム系混晶薄膜の成長と物性		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、酸化ガリウムをベースとして、コランダム構造ワイドギャップ酸化物半導体混晶の創成と、機能性遷移金属酸化物との混晶化により新しい機能を付加することを目指して行った研究をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、混晶半導体による従来の半導体デバイスの歴史を概観し、より付加価値の高い混晶系としてコランダム構造酸化物を提唱し、バンドギャップ値の制御と物性の付加が同時に可能な混晶半導体が作製可能になることを述べ、本研究の目的を明確にしている。またベースとなる半導体材料として、コランダム構造酸化ガリウム(<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>)の意義を述べている。</p> <p>第2章では、c面サファイア(<math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math>)基板上への<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>の成長において、格子定数ミスマッチが4.5%と大きいにも関わらず、c面のX線<math>\omega</math>スキャンロックアップカーブ半値幅が100秒以下と結晶性が優れている理由について透過型電子顕微鏡観察から考察している。その結果、<math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math> 21層：<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math> 20層ごとに転位が生じて整合するというドメイン整合エピタキシがその主因であることを述べている。欠陥としてらせん転位は観察限界以下で、そのためc面方向に優れた結晶性を示す一方で、刃状転位が<math>7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}</math>程度の高密度で存在しているため、今後その低減が課題であることを提言している。</p> <p>第3章では、すべてコランダム構造をもつ(<math>\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3</math>)-(<math>\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3</math>)-(<math>\alpha\text{-In}_2\text{O}_3</math>)混晶系のバンドギャップエンジニアリングを提唱し、その実証に関して述べている。熱的にはピクスパイト構造が安定である<math>\text{In}_2\text{O}_3</math>に対し、c面サファイア基板とコランダム構造を持つバッファ層を用いて成長することで、コランダム構造の<math>\alpha\text{-In}_2\text{O}_3</math>が成長することを見出し、さらに<math>\alpha\text{-(Al,Ga)}_2\text{O}_3</math>および<math>\alpha\text{-(Ga,In)}_2\text{O}_3</math>混晶を実証している。また、<math>\alpha\text{-(Ga,In)}_2\text{O}_3</math>混晶において(Ga,In)N混晶と同様に非混和性が高いことを述べている。</p>			

第4章では、コランダム構造をもつ上記半導体混晶系に対して、コランダム構造遷移金属酸化物 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-V}_2\text{O}_3$ 等を混晶化して機能を付加するという機能エンジニアリングの概念を提唱している。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ との混晶化が可能になる成長条件のもとで、これら酸化物の成長を実証しているが、なかでも $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ についてはc面のX線 $\omega$ スキャンロッキングカーブ半値幅が100秒以下と結晶性が優れており、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ との混晶化に適していることを述べている。

第5章では、機能エンジニアリングの例として半導体である $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と弱強磁性体である $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の混晶作製を試み、全組成にわたってX線ロッキングカーブ半値幅が100秒以下の高品質混晶を実証している。さらに110Kにおいて磁化ヒステリシスの発現を得ている。上記混晶に対して混晶組成の最適化を行い、Fe組成58%の $\alpha\text{-(Ga,Fe)}_2\text{O}_3$ によって室温において磁化ヒステリシスを示す半導体の作製に成功している。また微細領域の組成分析において金属間化合物の析出が見られない均一な薄膜であることを示し、磁化発現の起源についてはDzyaloshinskii-Moriya相互作用が支配的であるとする考察を述べている。従来の希薄磁性半導体に対する機能エンジニアリングの優位性を述べ、今後のスピントロニクスへの新しい道を示すものであると結言している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究成果の波及効果および今後の展開について提言を行っている。

氏名	金子 健太郎
----	--------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、酸化ガリウムをベースとして、コランダム構造ワイドギャップ酸化物半導体混晶の創成と、機能性遷移金属酸化物との混晶化により新しい機能を付加することを目指して行った研究をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. c面サファイア( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )基板上へのコランダム構造酸化ガリウム( $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ )の成長において、格子定数ミスマッチが4.5%と大きいにも関わらず、c面のX線 $\omega$ スキャンロックアップカーブ半値幅が100秒以下と結晶性が優れている理由について透過型電子顕微鏡観察から考察した。その結果、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  21層： $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  20層ごとに転位が生じて整合するというドメイン整合エピタキシがその主因であることを見出し、一方で欠陥として刃状転位が支配的であり今後その低減が課題であることを提言した。
2. サファイア基板上にコランダム構造 $\alpha\text{-In}_2\text{O}_3$ が成長することを実証し、すべてコランダム型構造をもつ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )-( $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ )-( $\alpha\text{-In}_2\text{O}_3$ )混晶系のバンドギャップエンジニアリングを提唱し、混晶化を一部実証した。
3. コランダム構造をもつ上記半導体混晶系に対して、コランダム構造遷移金属酸化物 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-V}_2\text{O}_3$ 等を混晶化して機能を付加するという機能エンジニアリングの概念を提唱した。
4. 機能エンジニアリングの例として半導体である $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ と弱強磁性体である $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の混晶作製を試み、全組成にわたってX線ロックアップカーブ半値幅が100秒以下の高品質混晶を実証した。さらに110Kにおいて磁化ヒステリシスの発現を得た。
5. 上記混晶に対して混晶組成の最適化により室温において磁化ヒステリシスを示す半導体の作製に成功した。またその起源に関して考察を加えた。従来の希薄磁性半導体に対する機能エンジニアリングの優位性を明確にし、今後のスピントロニクスへの新しい道を示した。

以上、本論文は、酸化ガリウムをベースとする高品質のコランダム構造酸化物混晶薄膜の成長を達成し、バンドギャップエンジニアリングと機能エンジニアリングによって今後の新しい機能デバイスにつながる材料面からの貢献を果たしたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年2月6日論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。