

論文内容の要旨

博士論文題目

めっき法により作製した Fe-Ni 合金膜の金属組織学的研究と低熱膨張材料への展開

氏 名 永山 富男

【背景】 Fe-30~40mass%Ni 合金は、室温付近の熱膨張係数 (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) が、Fe および Ni の CTE 値 (12 および 13 ppm/K) の 1/2 以下の低い値を示す。低 CTE 特性を示す組成の Fe-Ni 合金は、“インバー合金”と称せられ、特に、Fe-36mass%Ni 合金が最も低い CTE を示す (約 1ppm/K)。めっきとリソグラフィ技術とを組み合わせたエレクトロフォーミング (電鍍) では、圧延、機械加工またはエッチングなどの従来の加工技術では達成困難な微細、高アスペクト比、高寸法精度の形状を有する製品を作製することができる。エレクトロフォーミングによってインバー Fe-Ni 合金を作製することができれば、より微細で精密な加工形状の Fe-Ni 合金製品をより高いスループットで作製することが可能になる。しかし、インバー Fe-Ni 合金めっき膜をエレクトロフォーミングプロセスに適用した検討例はこれまでにない。

【目的】 本論文は、インバー Fe-36~42mass%Ni 合金をめっき法で作製し、エレクトロフォーミングにより、微細加工形状を有する 3 次元金属構造体を作製することを目的として、Fe-Ni 合金めっき膜の作製、特性評価とその向上、さらに低熱膨張材料への展開について金属組織学的観点から検討した。

【結果】 インバー Fe-36~42mass%Ni 合金膜を作製するための実用的なめっきプロセスを提案した。得られたインバー Fe-Ni 合金めっき膜の特性について金属組織学的な検討を行った。得られたインバー Fe-Ni 合金めっき膜に熱処理を施すことにより、目的の低 CTE 特性を得ることができた。また、複合めっき法により硬質微粒子を第 2 相としてインバー Fe-Ni 合金めっき膜中に複合化した。硬質微粒子として SiC を用い、めっき膜の機械的特性を向上させることができた。さらに、得られたインバー Fe-Ni 合金めっき膜の低熱膨張材料への展開を目的として、エレクトロフォーミングプロセスに適用した。これまでの商用プロセスでは成し得ない微細で高寸法精度の低 CTE インバー Fe-Ni 合金メタルマスクを作製することができた。作製したメタルマスクは、大型高精細有機 EL ディスプレイの製造工程への利用が期待される。

(論文審査結果の要旨)

インバーFe-36~42mass%Ni合金は、室温付近の熱膨張係数 (Coefficient of Thermal Expansion, CTE) が、FeおよびNiのCTE値(それぞれのCTEは、12および13 ppm/K)の約1/2以下の低い値を示す。特に、Fe-36mass%Ni合金がFe-Ni合金系において最も低いCTE(約1ppm/K)を示す。めっき法でインバーFe-Ni合金を作製し、得られためっき膜をエレクトロフォーミング(電鍍)に適用することで、これまでの商用プロセスでは成し得ない微細で高寸法精度のインバーFe-Ni合金製品を提供することが可能になると期待される。一方で、インバーFe-Ni合金めっき膜を用いたエレクトロフォーミングプロセスの検討例はこれまでにない。本論文は、インバーFe-36~42mass%Ni合金をめっき法で作製し、めっき技術を利用した微細加工法であるエレクトロフォーミングにより、微細加工形状を有する3次元金属構造体を作製することを目的として研究を進め、以下に示す結果を得ている。

(1) めっき膜の内部応力制御を目的とした添加剤の選定により、低内部応力のインバーFe-Ni合金めっき膜の内部応力を低減化し、低熱膨張材料への展開が可能なめっき膜の作製に成功した。

(2) インバーFe-Ni合金めっき膜に400~600℃の熱処理を施すことにより、目的の低CTE特性の発現が可能であることを見出した。また、熱処理後、めっき膜は良好な靱性を示すこと見出し、その機構を金属組織学的な観点から明らかにした。

(3) めっき膜のCTE低減のための熱処理に伴う硬さの低下を改善するため、SiC微粒子を第2相としてめっき膜に複合化させた。SiC微粒子のインバーFe-Niめっき膜中への複合化により、熱処理後のめっき膜の硬さの低下を著しく抑制できることを明らかにした。

(4) インバーFe-Ni合金エレクトロフォーミングにより、低CTEインバーFe-Ni合金メタルマスクを作製することができた。これは大型高精細有機ELディスプレイの蒸着プロセスへの利用が期待できるものである。

以上のように本論文では、新規な低熱膨張材料が得られる新しいエレクトロフォーミングプロセスを提供した。本プロセスにより、これまで商用プロセスでは作製困難であった、微細で高寸法精度の低熱膨張製品をインバーFe-Ni合金により作製し得た。これは材料プロセス学の分野の学術的研究として高く評価でき、物質科学への発展に貢献しているものと考えられる。よって、審査委員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。