

超精密薄膜抵抗器の開発

材料技術課 岩坪 聡、*田村 幾夫、機械電子研究所 清水 孝晃

1. はじめに

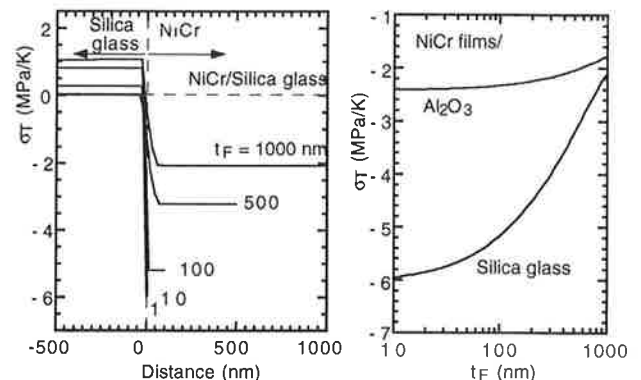
近年、携帯電話などの発達により電子部品には、高密度実装と高周波特性の向上に対応するための小型と高精度化が求められている。そのため抵抗器においても同様な特性が強く求められるようになってきた。一般的に抵抗器に使用される材料は、Ni-Cr合金であるが、その材料を薄膜に加工した場合の特性のばらつきは大きく、温度抵抗係数(Temperature Coefficient Resistance)を30 ppm/K以下にすることは、非常に困難であった。そのため実用化されている低温度係数特性をもつ超精密抵抗器には非常に高価な金属箔を使用せざる負えない状況であった。その要因として薄膜の構造変化など様々な要因が挙げられてはいたが、明確に検証されたことはなかった。超精密抵抗器に要求されるTCRが0近くになると基板と膜との間に発生する熱歪・応力の効果が様々な形で現れ、その効果が無視できなくなると考えられる。そこで本研究では、熱歪・応力がNiCr膜のTCRに及ぼす影響を明らかにし、安価な超高精度薄膜抵抗器を開発するために必要な条件を明らかにした。

2. 実験方法及び結果

まず、基板として熱膨張係数が $0.35 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ と小さな石英基板とNiCrの $9.9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ に近い $7.9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ のアルミナ基板にRFマグネトロンスパッタ法(RFMS)とイオンビームスパッタ法(IBS)の2種類の作製方法にて30 nm から500 nm の膜厚のNiCr膜を作製し、温度220 ~ 320 K の範囲の抵抗値変化から膜のTCRを求めた。基板には表面あらさの違いによる膜構造変化の影響を無くすために、共にAFM測定で $1 \times 1 \mu\text{m}$ の範囲の平均あらさRaが15 nm以下の鏡面状のものをを用いた。また、温度1 K当たりに発生する膜の熱応力 σ_T はMARCと呼ばれる有限要素法シミュレーションを使用して求めた。膜の厚み t_F は数nmから数千nmの大きさに対して、基板の厚みは数mmなので、そのままモデリングするのは困難なため境界条件の最適化を行うことでシミュレーションを行った^[1]。

図1(a)にシミュレーションにより求めたNiCr薄膜の膜厚 t_F をパラメータとしたときの応力分布を示す。応力は、基板には正の引っ張り、膜には負の圧縮応力がかかり、その値は基板と膜の界面で急激に変化した。また、 t_F が厚い1000 nm のとき、 σ_T は-2.0 MPa/Kであるが、 t_F が100 nm と薄くなると σ_T は-5.2 MPa/Kと急激に変化した。これらの結果は膜が非常に薄い場合、基板の熱歪

みの影響を強く受け、それが直接膜の応力となって働くのに対して、膜がある程度厚くなってくると膜自体も基板に影響を与え、その相互作用のため基板の応力の大きさが減少することを示している。図1(b)に、(a)の結果に基づいて得られたアルミナ基板と石英基板上のNiCr膜に働く σ_T の t_F 依存性を示す。膜と基板の熱膨張係数の差が小さなアルミナ基板では、 σ_T の大きさは最大2.4 MPa/Kの大きさで t_F に対する変化も少ないが、熱膨張係数の差が大きな石英基板では σ_T はアルミナ基板の3倍近い値を持つことが、さらに、両者とも t_F が100 ~ 1000 nm の範囲で σ_T が急激に変化する傾向があることが分かった。



(a) Distribution of thermal stress σ_T of NiCr films as a parameter of t_F on silica glass substrates. (b) t_F dependence of σ_T of NiCr films on silica glass and Al_2O_3 substrates.

Fig. 1. Depth profile σ_T as a parameter of t_F by the simulation.

図2に、RFMSとIBSにて作製したNiCr膜のTCR特性の膜厚依存性を示す。作製方法によっても膜のTCRは異なり、RFMSのNiCr膜のTCRはIBSのものよりも小さな値を示すことが分かった。どの膜も t_F が増加するにしたがって、TCRが大きくなる傾向があった。また、石英ガラスの方が、小さな値で t_F に大きく依存していた。ここで、SEMとXRDから作製方法が同一な膜では、膜厚による構造変化がないことが確かめられた。そのため、TCRの t_F 依存性は、基板と膜の熱応力によって発生しているものと考えられた。そこで、シミュレーションから見積もられる熱応力 σ_T とTCRの関係を図3に示す。RFMSとIBSで作製された膜のそれぞれのTCRは、 σ_T に比例することが確かめられ、熱応力の効果が確認できた。ここで、RFMSとIBSの膜で、 σ_T に対する傾きが異なっているが、この原因がTEMとナノインデンテーション測定

*現 機械電子研究所

から主に膜構造、特に膜密度の違いによっていることが確かめられた。

果などの検討も行い、NiCr 膜における TCR の様々な要因を明らかにした。

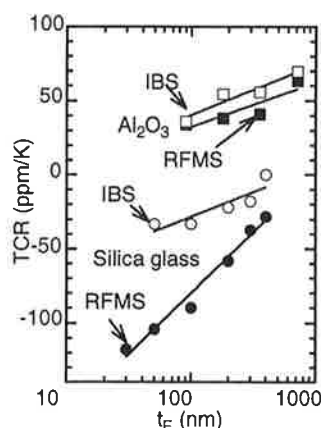


Fig. 2. t_F dependence of TCR of the NiCr films on various substrates of silica glass and Al_2O_3 .

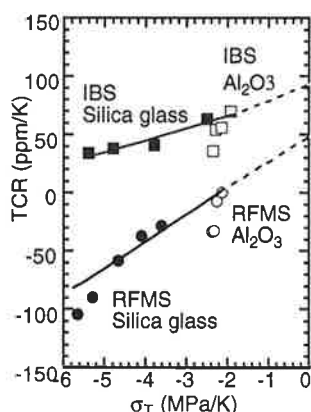


Fig. 3. Relationship between σ_T and TCR of the NiCr films.

次に、量産時の基板を考えた場合、基板の表面状態も重要なパラメータとなるため、表面あらしの異なるアルミナ基板の上に、NiCr 膜を作製し、その TCR の変化を調べた。

図 4 に表面があれた基板の上に堆積した NiCr 膜の応力分布を示す。谷の部分に膜が平坦な場合の数倍の熱応力が発生することが分かった。この現象は、膜厚が表面あらしに対して十分大きくない場合に重要で、この部分が薄膜抵抗体の電気伝導に直列に入ってくるため、膜の TCR が大きく変化する原因となっていることが分かった。図 5 に表面あらしの異なるアルミナ基板の上に堆積した NiCr 膜 TCR の膜厚依存性を示す。表面あらし R_a が 13 nm の基板では、 t_F に対して直線的に増加したが、 R_a が 52 nm の基板に対しては TCR は t_F が 200 nm 以下に急激に減少した。そして R_a が 256 nm の基板に対しては全体的に 30 ppm/K 以上の大きな TCR の減少があった。これらの結果から表面あらしの効果は R_a の 4 倍以下の膜厚で強く現れることが分かった。その他、アニール効

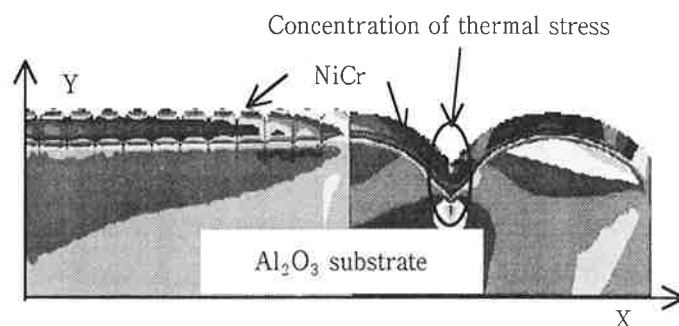


Fig. 4. Typical distributions of thermal σ_T calculated by MARC.

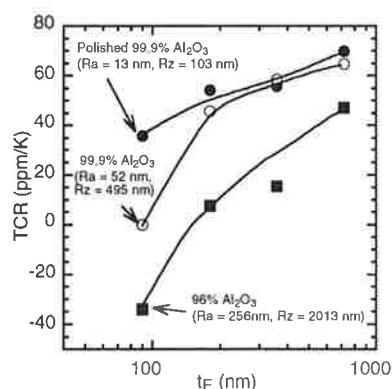


Fig. 5. t_F dependence of TCR of the NiCr films on Al_2O_3 substrates with various roughness.

3. まとめ

薄膜抵抗体における温度抵抗係数の原因を明らかにした。これらの効果を考慮して精密抵抗体を設計する必要があることが分かった。

「参考文献」

- [1] 岩坪 聡、清水 孝晃、桑原 大輔、谷野 克巳：「RF マグネトロンスパッタ法で作製された NiCr 膜の電気特性に関する熱応力効果」、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、C-6-4, 13 (2004)

キーワード: 抵抗 温度 TCR 薄膜 熱応力 熱歪

Preparation of Thin Film Resistance with Low Temperature Coefficient

IWATSUBO Satoshi, TAMURA Ikuo, SHIMIZU Takaaki

NiCr films were prepared by rf magnetron sputtering and ion-beam sputtering as a parameter of film thickness t_F . The substrates of silica glass and Al_2O_3 with various roughnesses were used. The relation ship between t_F and thermal stress σ_T of the films was calculated by FEM simulation called MARC. The σ_T dependence of resistivity ρ and TCR (Temperature Coefficient Resistance) of the films has been investigated. The factors of the thermal stress for TCR in the films became clear. To prepare the film resistance with low TCR, the structure to control the effect is required.