

2007 年度 科学技術共同研究センター 研究プロジェクト実績報告書

課 題	エアロゾルデポジション法を用いた新しい疲労ゲージに関する基礎研究
研究組織	森 正和 (理工学部・助教) 研究代表者 堀川 武 (理工学部・教授)

1 . 研究発表

- (1) M. Mori and J. Akedo, Formation of Resistance Film for Stress Sensor by AD method, Proceedings of 4th International Conference on Ceramics Interconnect and Ceramics Microsystems Technologies, pp. 514-518 (CD-ROM), (April 21-24, 2008)
- (2) M. Mori, J. Akedo, Characteristics of resistive film fabricated by aerosol deposition method at room temperature, Proceedings of the 24th Japan-Korea International Seminar on Ceramics, Shizuoka, Japan, pp.789-792, (November 20, 2007)

2 . 2007 年度の研究計画

エアロゾルデポジション (AD) 法による新しい疲労ゲージの開発を実現するためには、大きく分類して、次の 3 項目についての基礎研究を実施する必要があると考えている。繰り返し応力の負荷による部材の疲労損傷は、疲労ゲージを構成する抵抗体膜における電気抵抗の変化によって検出することを目指す。そのためには、(1)? (3)を明らかにする必要がある。

- (1) AD 法で室温成膜した抵抗体膜の基本特性の評価(疲労損傷検出に用いる電気特性は、長期的な安定性も評価する必要がある)
- (2) 抵抗体膜の電気特性の変化と疲労試験片におけるひずみ変化との相関性
- (3) 抵抗体膜の電気特性と部材 (疲労試験片) の疲労損傷との相関性

研究期間中に、まずは(1)を明確にする。現状ではルテニウムを基本とする抵抗体膜を考えているが、AD 法では ITO 膜などの抵抗体 (半導体) 膜や金属膜の形成も可能であり、評価対象などの状況の変化に応じた選択を行うために、ニッケル - アルミナ抵抗体膜についても作成し、その特性を評価する。

その後、実際の疲労試験片に接着もしくは直接成膜を実施して、疲労ゲージを取り付けた試験片を用いて疲労試験を行う。まずは、一定荷重下での疲労試験を行いながら、(2) - (3)の情報を蓄積していくことを目的とした。最終的には、実機に加わる応力に近い変動荷重下での疲労試験も必要となってくるとも考えている。

3 . 研究実績の概要 (研究経過と成果)

3.1 研究経過

本研究期間中において、疲労ゲージに適用するための抵抗体膜の形成を AD 法にて行い、2 種類の抵抗体膜の基本特性を評価した。そして、疲労試験片の平滑部に絶縁体膜と抵抗体膜で構成される疲労ゲージを形成し、試験片に負荷される応力変化と抵抗率の変化の相関関係の評価した。さらに、同様の試験片にて疲労試験を実施し、疲労ゲージとして応用可能であることを示唆する研究結果を得つつある。具体的には、AD 法を用いて、ニッケル - アルミナ抵抗体膜およびルテニウム - アルミナ抵抗体膜の室温形成を行った。そ

して、これらの抵抗体膜における電気抵抗ならびに硬度などを評価し、明らかにした。疲労ゲージとして適用するために、疲労試験片の平滑部上に絶縁膜およびルテニウム - アルミナ抵抗体膜を AD 法にて室温形成し、電極を取り付けたゲージを作成した。こうして作成した疲労試験片に引張 - 圧縮応力を負荷して、抵抗体膜における電気抵抗の変化を評価した。さらに、同様の試験片を用いて疲労試験を実施し、応力負荷の繰り返し数 N と電気抵抗の変化を評価することで、疲労ゲージの基本特性を評価した。

3.2 研究成果

3.2.1 AD 法による抵抗体膜の室温形成

(A) ニッケル - アルミナ抵抗体膜

ニッケル - アルミナ混合粉末を用いて、AD 法によりガラス基板の上にニッケル - アルミナ抵抗体膜を形成した。ニッケル - アルミナ抵抗体膜の外観を図 1 に示す。抵抗体膜は $10 \times 10 \text{ mm}$ 、膜厚は約 $20 \mu\text{m}$ である。成膜速度は約 $10 \mu\text{m}/\text{min}$ であった。また、ニッケル - アルミナ混合粉末の混合比を変えたときの体積抵抗率および硬度変化の関係を図 2 に示す。体積抵抗率はニッケル粉末に対するアルミナ粉末の添加量が増加するに従って増加することを明らかにした。なお、アルミナ 50% 添加した混合粉末を用いたとき、体積抵抗率は約 $1.3 \times 10^{-4} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ を示した。混合粉末を変化させるだけで、容易に抵抗体膜の体積抵抗率を制御できることを明らかにできたが、一方で疲労センサーとして要求する抵抗率を幅広く設定することを考え、ルテニウム - アルミナ抵抗体膜の形成および評価を実施した。

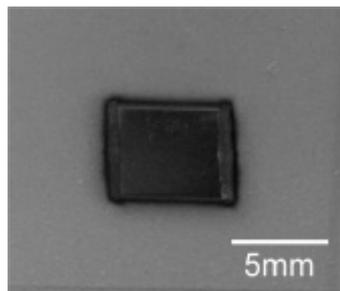


図 1 ニッケル - アルミナ抵抗体膜の外観

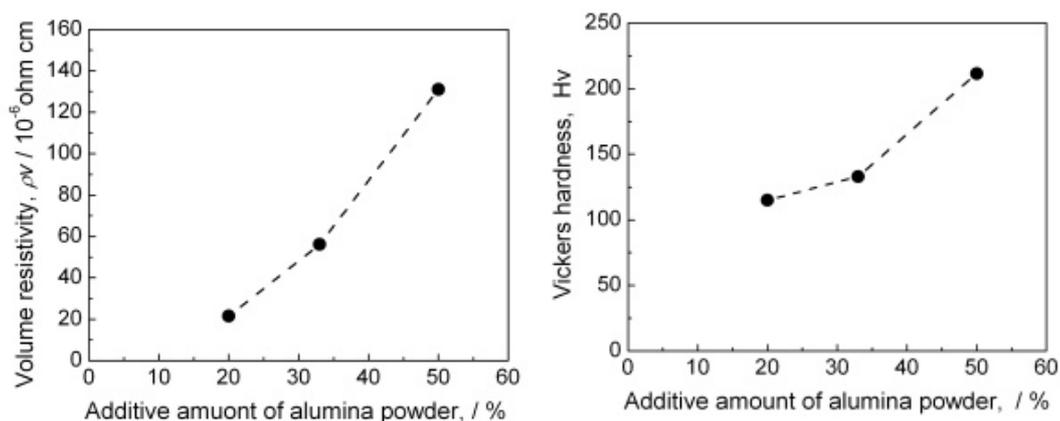


図 2 ニッケル - アルミナ粉末の混合比と体積抵抗率および硬度の関係

(B) ルテニウム - アルミナ抵抗体膜

ルテニウム - アルミナ混合粉末を用いて、AD 法によりガラス基板の上にルテニウム - アルミナ抵抗体膜を形成した。ルテニウム - アルミナ抵抗体膜の外観および走査型電子顕微鏡 (SEM) による断面観察結果を図 1 に示す。ルテニウム - アルミナ抵抗体膜の特性を表 3 に示している。観察結果より、混合膜は室温でガラス基板の上に形成できること、混合膜

とガラス基板との界面にははく離やき裂などは観察されないことから，はく離強度は高いものと考えられる．さらに，断面構造には大きなポアが見られないこと，ビッカース硬度が Hv1000 以上であったことから，膜緻密度も高いとことがわかる．ただし，表 1 に示すビッカース硬度および抵抗率については，使用する粉末の種類や混合比を変化させることによって制御可能である．

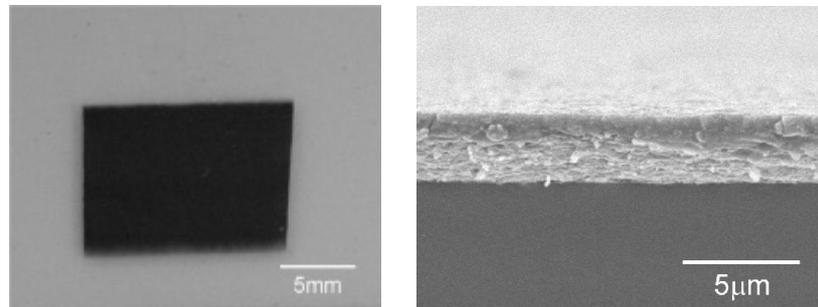


図 3 ルテニウム - アルミナ抵抗体膜の外観と断面構造

表 1 ルテニウム - アルミナ混合膜の特性 (一例)

ビッカース硬度	> Hv1000
抵抗率	34 Ω
抵抗体膜の厚さ	2 μm

3.2.2 疲労試験片上への疲労センサーの形成

AD 法を用いて絶縁膜とルテニウム - アルミナ抵抗体膜で構成された疲労ゲージを疲労試験片の平滑部分に直接形成した．疲労試験片の形状および平滑部における疲労ゲージの形成状況を図 3 に示す．なお，疲労試験片の材質は SCM 435 である．試験片に使用した SCM 435 の化学組成ならびに機械的特性を表 2 および表 3 に示す．なお，ゲージの成膜実験時は，試験片を成膜チャンバに設置し，絶縁膜と抵抗体膜を連続して成膜した．また，裏面の平滑部にも 2 ヶ所，疲労ゲージの形成を行った．そして，試験前には抵抗体膜と試験片との間に導通がないことを確認している．

次に，インストロン型疲労試験機 (INSTRON, 8502) を用いて，上述のような試験片に対して ± 200 MPa の引張 - 圧縮応力を加えたときのルテニウム - アルミナ抵抗体膜の抵抗率の変化を図 4 に示す． ± 200 MPa の引張 - 圧縮応力を加えることによって，抵抗体膜の抵抗が 680 Ω から 760 Ω まで変化し，その変化量は 0.2 Ω/MPa であった．そして，負荷応力の変化に対して抵抗率の変化は直線的であることがわかる．

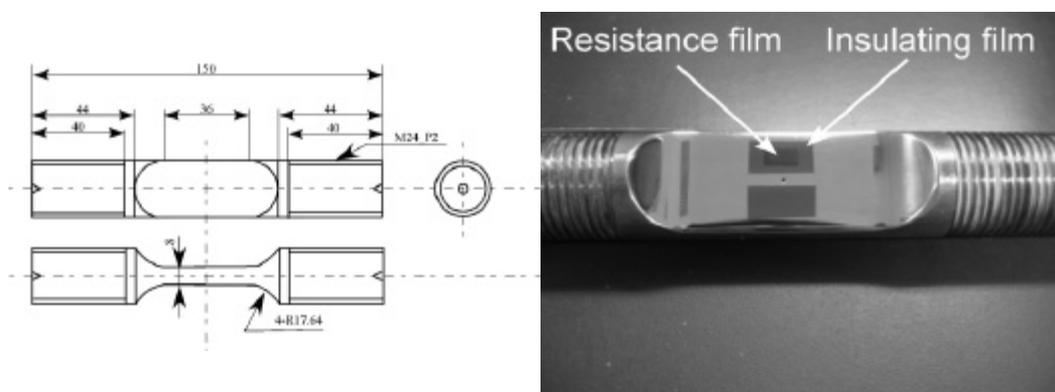


図 3 疲労試験片の形状および平滑部上に形成した疲労ゲージ (絶縁膜 + ルテニウム - アルミナ抵抗体膜)

表 2 SCM 435 の化学組成

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mn
SCM 435	0.38	0.2	0.65	0.013	0.013	0.01	0.02	0.97	0.17

表 3 SCM 435 の機械的特性

Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]	Reduction of area [%]
623	867	0.013	0.01

この結果は、絶縁膜と抵抗膜で形成されているゲージと試験片との接触力が十分であり、AD 法で形成した抵抗膜が試験片のひずみ変化を十分に検出可能であることを示唆している。例えば、接着剤などを用いてゲージを接着した場合には、接着部におけるひずみ量の変化が発生しうること、高温環境下では使用できないということがあるが、本ゲージにおいては、ゲージと試験片表面は化学的に結合していること、セラミックスや金属がバインダーなしで成膜されていることから、ある程度の高温環境下においても使用可能であると考えられる。現在は、同様の試験片ならびに疲労ゲージの構成を用いた疲労試験を実施しており、疲労ゲージとして応用可能であることを示唆する研究結果を得つつある。

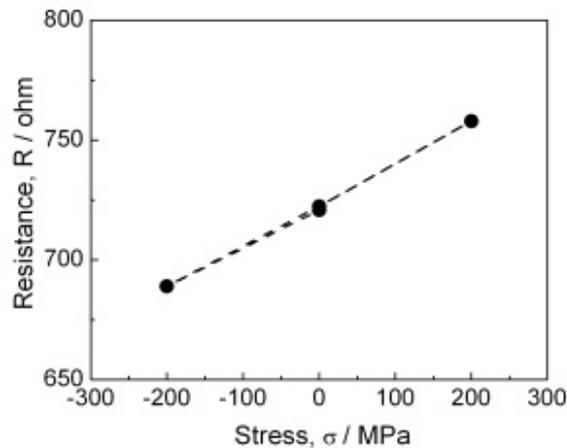


図 4 試験片への引張 - 圧縮応力の負荷による抵抗膜の抵抗率変化

4 . 本研究課題のキーワード

- (1) エアロゾルデポジション (AD) 法
- (2) 疲労ゲージ
- (3) 抵抗膜
- (4) ニッケル - アルミナ混合膜
- (5) ルテニウム - アルミナ混合膜
- (6) 常温成膜