

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	銅箔における繰り返し変形挙動の厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響
Title(English)	
著者(和文)	冠和樹
Author(English)	kazuki kammuri
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9818号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤居 俊之,加藤 雅治,細田 秀樹,稲邑 朋也,三宮 工
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9818号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

## 【論文要約】

論文題目：「銅箔における繰り返し変形挙動の厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響」

総合理工学研究科

物質科学創造専攻

冠 和樹

本論文は、疲労特性に優れた薄い銅箔を開発するための基礎として、銅箔の繰り返し変形挙動の厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響について明らかにしたものである。

### 第 1 章 「序論」

フレキシブル配線板に用いられる厚さ数  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の銅箔における疲労寿命の厚さ依存性のメカニズムは解明されていない。また、これまでの研究では疲労寿命の厚さ依存性の議論において結晶方位の影響が考慮されていない。厚さが数  $\mu\text{m}$  以下の銅箔のように薄くなると疲労寿命が長くなれば問題ないが、FPC 用銅箔が対象とする 5  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の領域では、箔が薄くなると短寿命化するとの報告もあり、耐疲労特性が維持できないために銅箔を薄くできないという制限が生じる可能性もある。耐疲労特性を必要とする FPC に用いられているのは Cube 再結晶集合組織が著しく発達した銅箔であり、疲労寿命の厚さ依存性に対する結晶方位の影響について把握する必要がある。そこで、本研究では耐疲労特性に優れた薄い銅箔を開発するための基礎として、厚さが数  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の銅箔における繰り返し変形挙動の厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響を明らかにすることを目的とした。

### 第 2 章 「Cube 再結晶集合組織が発達した銅箔の疲労挙動」

Cube 再結晶集合組織の発達度が異なる 2 種類の圧延銅箔を用いて、フレキシブル配線板が実使用下で受ける繰り返し変形に近い疲労試験を行ない、再結晶集合組織の発達度が疲労寿命に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。低サイクル疲労、高サイクル疲労を問わず、Cube 再結晶集合組織が発達している銅箔の方が疲労寿命は長くなった。繰り返し変形後の表面および断面観察から Cube 再結晶集合組織の発達度が異なると箔の表面に形成される intrusion と extrusion の形態が異なることを示し、intrusion と extrusion の形態が疲労寿命に及ぼす影響について明らかにした。

### 第 3 章 「Cube 再結晶集合組織が発達した銅箔の疲労挙動」

板面方位が明確なもとの疲労転位組織発達過程の厚さ依存性を明らかにすることを目的とした。ポリイミドと張り合わせた厚さ 11  $\mu\text{m}$ 、16  $\mu\text{m}$  および 31  $\mu\text{m}$  の Cube 再結晶組織が著しく発達した銅箔を供試材とし、箔とポリイミドの積層体に一定変位まで

引張荷重を負荷させた後、無負荷状態にすることで銅箔に圧縮ひずみを与える引張-圧縮の疲労試験を行った。疲労転位組織の観察には Electron Channeling Contrast Imaging 法を用いた。銅箔の厚さによらず、応力軸に垂直な面に沿った wall 組織が支配的に発達した疲労転位組織が観察された。一方、銅箔が薄くなると、疲労転位組織の発達は抑制され、疲労転位の発達過程に厚さ依存性が存在することを明らかにした。また、応力軸に垂直な結晶粒界近傍では結晶粒界の影響を受け、wall 組織から cell 組織への疲労転位組織の発達が早く起きることも明らかにした。

#### 第 4 章 「単一すべり方位を持つ銅単結晶箔における繰り返し変形挙動の厚さ依存性」

単結晶箔の基本として、単一すべり方位[419]を応力軸に持ち、板面を(21 $\bar{1}$ )および(5 $\bar{1}\bar{1}$ )とすることで主すべり方向が銅箔の板面に平行となる単結晶箔と側面に平行となる単結晶箔を作製して疲労寿命の厚さ依存性について調査した。厚さ 140  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  および 500  $\mu\text{m}$  の純銅単結晶箔について応力比  $R = 0$  のせん断応力振幅制御疲労試験を行った。(21 $\bar{1}$ )材、(5 $\bar{1}\bar{1}$ )材ともに試験片が薄くなるほど低寿命側に  $S-N$  曲線がシフトした。そして、この厚み依存性は(5 $\bar{1}\bar{1}$ )材の方が顕著であるため、同一厚みで両供試材を比較すると、たとえば  $t = 140 \mu\text{m}$  において、(21 $\bar{1}$ )材の疲労寿命は(5 $\bar{1}\bar{1}$ )材より約 1000 倍長くなることを明らかにした。また、板面のすべり線観察から、(5 $\bar{1}\bar{1}$ )材、(21 $\bar{1}$ )材ともに主すべり面および 2 次すべり面にあたる臨界すべり面のトレースに沿ってすべり線が認められ、疲労初期の段階から 2 つのすべり系が活動していることを明らかにした。また、断面観察により、金属疲労に特徴的な intrusions, extrusions ではなく、高さ数  $\mu\text{m}$  からなるステップが形成されていることを明らかにした。圧縮変形を負荷させない試験法において、疲労寿命の厚さ依存性は、繰り返し変形のすべりの幾何学を考慮し、表面ステップ形成による実質的なすべり面面積の減少率の厚さ依存性から説明できることを示し、繰り返し変形に伴って箔の表面にステップを形成しやすい板面方位ほど、試料の疲労寿命の厚さ依存性が大きくなると結論した。

#### 第 5 章 「(100)単結晶箔における疲労寿命の厚さ依存性」

第 3 章で疲労寿命に及ぼす結晶粒界の影響を、そして第 4 章で疲労寿命に及ぼす表面ステップの影響を示したことを受けて、疲労寿命の真の厚さ依存性を探るために、多重すべり方位の(100)単結晶箔を用いて圧縮変形が負荷される疲労試験を行った。単結晶箔の疲労寿命は Cube 再結晶集合組織が著しく発達した箔より長いことおよび疲労寿命は厚さが薄いほど長くなることを明らかにした。また、第 3 章と同様に疲労転位組織は、(001)wall 組織が支配的に発達し、箔の厚さが薄くなるほど(001)wall の発達が抑制されることを明らかにした。そして、一連の研究結果から、箔の繰り返し変形では、結晶粒界や表面ステップの影響がなければ、箔が薄くなるにつれて本質的には疲労寿命が長くなると結論した。

## 第 6 章 「結論」

銅箔の耐疲労特性に優れた薄い銅箔を開発するための基礎として、厚さ数  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の銅箔における繰り返し変形挙動の厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響を明らかにすることを目的とし、Cube 再結晶集合組織が発達した銅箔と単結晶銅箔を用いて疲労寿命を調べるとともに表面、断面からのすべり線の観察、および疲労転位組織の観察に基づいて厚さ依存性に及ぼす結晶方位の影響を解明した。