

(様式第5号)

## LIGA 微細加工で製作された Ni 製マイクロフィラメントが示す特異的物性の発現機構とフェルミ準位近傍の電子密度状態、マイクロ構造との相関

Correlation between the characteristic material properties and the electronic density of band-states & localized microstructure for Ni ions of the micro-filaments made by the LIGA micromachining

日高昌則<sup>1,4</sup>、野上大史<sup>2</sup>、竹下俊弘<sup>2</sup>、竹内良輔<sup>3</sup>、常葉信生<sup>4</sup>、河崎将市<sup>4</sup>、岩崎渉<sup>5</sup>  
M.Hidaka, H.Nogami, T.Takeshita, R.Takeuchi, N.Tokiwa, S.Kawasaki, W.Iwasaki

1:九州大学大学院工学研究院 機械工学部門 2:九州大学大学院工学研究院 システム生命科学府  
3:九州大学工学部機械航空学科 4:田口電機工業 技術課、5:産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター

1:Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University 2:Graduate School of System life Sciences, Kyushu University, 3:Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University 4:Technical Section, Taguchi Plating Industry, Co. Ltd 5: Measurement Solution Research Center, National Institute of Advance Industrial Science and Technology

### 1. 概要

LIGA 微細加工により製作されたNi製蛇行線マイクロフィラメント(線幅:約 30~50  $\mu\text{m}$ 、厚さ:約 20  $\mu\text{m}$ )の内部抵抗は、外部作用として“光”、“熱”および“指圧”に極めて敏感に感応することが明らかになった。これらの素材特性の発現機構を研究するために、マイクロフィラメントから放出されるNi-K吸収端近傍の蛍光XAS(XANES、EXAFS)を測定した。特に、これらの外部作用と XANES (pre-edge,main,intermediate)との相関により、マイクロフィラメントを構成しているNi製マイクログレインのフェルミ準位近傍の電子密度状態、Niイオン周辺の局所構造特性を調べた。

#### (English)

We found that the inner resistance of Ni-meandered micro-filaments made by a LIGA micro-machining is more sensitive to applied actions of force, light and/or heat. To study a mechanism for these functional properties, the fluorescence XAS including XANES and EXAFS were measured near the Ni-K edge of the micro-filaments, of which the seize was about 30-50 $\mu\text{m}$  in line-width and about 20 $\mu\text{m}$  in thickness. Especially, the electronic density of states near the Fermi level of Ni and the local micro-structures around Ni ions were investigated by the correlation between the applied actions and the XANES in the pre-edge, main and intermediate regions.

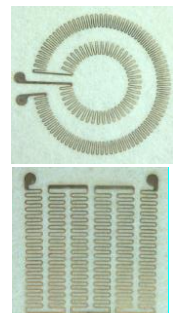
### 2. 背景と目的

現在、シンクロtron光からの高輝度X線および高出力紫外線を使用して、LIGA 微細加工による各種マイクロパーツ製作の技術開発研究を行っている。本実験で使用するマイクロフィラメントは指圧センサー、すべり検出センサー、すべり変位検出センサーなどの素子用に開発されたものである。最近の研究により、このマイクロフィラメント素子の内部抵抗値の変化量  $\Delta R$  が外部作用(指圧、光、熱)に対して敏感な感応を示すことが明らかになった。このNi製マイクロフィラメント素子が保有する特異的な物性・素材特性の発現機構を解明するために、本研究ではNi-K吸収端近傍のXAS分光を測定して、フェルミ準位近傍の電子密度状態(DOS)およびNiイオン周辺の局所構造特性と物性発現機構との相関を調べた。

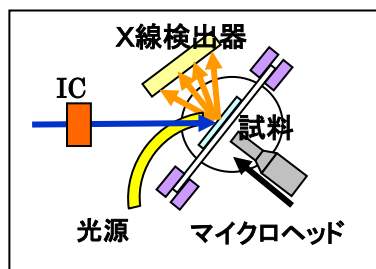
### 3. 実験内容(試料、実験方法、解析方法の説明)

#### [試料]

右図には、LIGA微細加工により製作された2種類のNi製マイクロフィラメントが示されている。円環蛇行線マイクロフィラメントは外形:直径8mm、矩形蛇行線マイクロフィラメントは外形:約5x5mmである。いずれのフィラメントも厚さ:約18  $\mu\text{m}$ 、線幅は約30  $\mu\text{m}$ である。



これらのマイクロフィラメントは約15~20Ωの内部抵抗値であった。



#### 【実験方法】

マイクロフィラメントの電気的特性と外部作用との特異的な感応特性を調べるために、左図の様な実験装置系でマイクロフィラメント素子表層部から放出されるNi-K吸収端近傍の蛍光XASを測定した。特に外部作用としての指圧、光励起、熱励起の印加下での素子内部抵抗値の変化量 $\Delta R$ と蛍光XASとの計測を同期化できる装置系で実験を行った。測定エネルギー領域はNi-K吸収端(8331eV)近傍の-100eV~+200eVで、試料への入射X線光子( $I_0$ )と試料表層部からの蛍光X線光子( $I_F$ )

の計測は同期化された。ただし、実験エリアでの室内光の影響を無くすために、蛍光XAS測定中には室内光は消灯した。なお、熱励起の実験ではペルチエ冷却基板の上に試料を設置して測定を行った。

#### 【解析方法】

後述する様に、これらの蛇行線マイクロフィラメント表層部から放出された蛍光XAS(XANES、EXAFS)スペクトルは各エネルギー測定点においてかなり微弱な計測値であった。従って、本研究では、この計測スペクトルはスムージングによるデータ解析を行った。

#### 4. 実験結果と考察

本研究で使用したNi製マイクロフィラメント素子の内部抵抗値の変化量 $\Delta R$ と外部作用(指圧、光、熱)との相関を明らかにするために、上図の様な実験配置で無外部作用( $F=0$ )、光励起、熱励起下での蛍光XASを測定した。右上図には、 $F=0$ と光励起(ハロゲン灯、青色LED)下でのNi-K吸収端近傍でのX線光子比( $I_F/I_0$ )が示されている。このマイクロフィラメントのX線吸収変曲点( $E_0$ )は8331.83eVであった。右中図および右下図は右上図のXAS拡大図であるが、main-XANES、intermediate-XANES領域をそれぞれ表す。main-XANES( $0 < \Delta E < \sim +30$ eV)は伝導電子帯下部に占有しているフェルミ準位近傍のDOS状態の情報を与えてくれる( $\Delta E = E - E_0$ )。一方、intermediate-XANES( $\sim +30 < \Delta E < \sim +80$ eV)はX線吸収イオンと周辺局在イオン間の結合距離および角度の立体化学的・幾何学的情報を与えてくれる。従って、これらの蛍光XAS分光により、内部抵抗変化量 $\Delta R$ と光励起外部作用とは明らかに相関があることが判明した。特に、光励起は、X線吸収Ni周囲のミクロ局所構造よりも伝導電子帯の最下部における電子的状態に影響を与える。

本研究では、熱励起の外部作用に関する測定も行った。しかし、 $\Delta E > +10$ eV以上のエネルギー全領域では、測定された蛍光XASの計測値はかなりの統計変動を示した。これは、実験に使用したX線検出器の変更も示唆した。なお、今回の実験では、外部作用・指圧による測定は装置系のトラブルにより実施できなかった。

#### 5. 今後の課題

本研究で開発したNi製マイクロフィラメントが示す特異的な物性・素材特性の発現機構は、主にNi金属のフェルミ準位近傍の電子密度状態と外部作用(光励起、熱励起)との相関に起因することが明らかになった。従って、今後の研究課題として、より高質な測定データを収集するためには、使用した測定系の改良とより広角度の蛍光X線を計測できるX線検出器の利用が求められる。

#### 6. 参考文献 該当なし

#### 7. 論文発表

シンクロトロン光・高輝度X線を利用する深刻X線リソグラフィによるLIGA微細精密めっき加工の技術開発  
日高昌則、常葉 信生、河崎 将市、田口英信、九州シンクロトロン光研究センター、2009-2010年報(35-38)

#### 8. キーワード

蛇行線マイクロフィラメント、LIGA微細加工、電子密度状態(DOS)

#### 9. 研究成果公開について

短期産学連携コースのため、該当なし。

