UV厚膜レジストを用いた高密度実装用マイクロコネクタの製作と特性評価

海野 敏典*, 鳥山 寿之**, 磯野 吉正**, 杉山 進**

Fabrication and Characterization of Micro Connector for High Density Packaging Using UV Thick Photoresist

Toshinori UNNO*, Toshiyuki TORIYAMA**, Yoshitada ISONO** and Susumu SUGIYAMA**

*立命館大学大学院理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

**立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

*Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University (1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu-shi, Shiga 525-8577)

**College of Science and Engineering, Ritsumeikan University (1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu-shi, Shiga 525-8577)

概要 本研究は、UV厚膜レジストによるフォトリソグラフィと電鍍の組み合わせによりマイクロコネクタを作製し、その特性評価を行った。作製したマイクロコネクタは100ピンで、厚さ50 μm 、最小幅15 μm 、最大アスペクト比3.3であり、端子間のピッチは80 μm である。特性評価として接触力、接触抵抗、ヤング率、許容電流値の測定を行った。ソケット端子の変位量が5 μm のときの接触力は3.3mNであった。四探針法により測定した端子間の接触抵抗は50m Ω 以下であった。SPM法などにより端子を構成するNi構造体のヤング率を測定したところ180GPaであった。また、環境試験を実施した結果、設計したマイクロコネクタはAuめっきを施すことで安定した電氣的接触が得られる見通しを得た。

Abstract

This study describes a micro connector produced using UV thick resist, lithography, and electroforming, and its evaluation. The fabricated connector has 100 pins with 80 μm pitch. The terminals of the fabricated micro connector were 50 μm thick and 15 μm wide (minimum). The maximum aspect ratio of the fabricated micro connector is 3.3 and the terminal pitch is 80 μm . In evaluating its specific properties, contact force, contact resistance, Young's modulus and permissible current have been determined. The contact force is 3.3mN at 5 μm displacement of the socket terminal. The contact resistance among terminals is shown to be less than 50m Ω using a four-point probe method. Young's modulus of the Ni structure is found to be 180GPa using the SPM method. The designed connector treated by Au plating has indicated the possibility of obtaining stable electric contact after the durability test.

Key Words: Micro Connector, Thick Photoresist, High Packaging Density, Contact Resistance

1. はじめに

半導体IC技術の発展により、高機能LSIを用いた小型・軽量・高機能電子装置が開発されている。それに伴い、装置内に使用される接続用コネクタもさらなる小型化が要求されている。現在市販されているコネクタの製法はプレス加工・射出成形である。そのためコネクタの最小ピッチはシングルピッチで300 μm が限界とされており、次世代IT市場に要求されるコネクタの高密度実装化に対応が困難な状況となっている。コネクタの高密度化を実現する1つの方法として微細加工技術の利用があげられる。しかし、微細化すると一般的には物理量が低下する問題があり、コネクタの場合は接触力の低下が問題となる。これに対しては3次元方向に寸法を増加させる、つまりアスペクト比を高くする必要がある。微細で高アスペクト比を有するマイクロストラクチャを作製する方法として、シンクロトロン放射光(SR)を利用したLIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) プロセスがある。この技術により厚さ数百

μm ～数mmの高アスペクト比マイクロストラクチャの製作が可能となり、直径2.5mm、厚さ2mmの円筒型コネクタの開発の報告^{1),2)}やマイクロコネクタの接点形状を作製した報告³⁾がされている。

LIGAプロセスは微細加工とその精度において優れているが、工程の特異性やスループット等のコストの面で改善すべき問題点がある。スループットを高め、コストを下げるには半導体プロセスに適合した製作方法が適している。

半導体プロセスを用いた研究ではシリコン基板の異方性エッチングによるマイクロコネクタが報告⁴⁾されている。

近年のコネクタの狭ピッチ化傾向は、500 μm 、400 μm 、300 μm となっており、この傾向から次世代は200 μm ピッチが予測される。本研究では、次々世代を100 μm ピッチと予測し、また、従来研究でもLIGAプロセスにより100 μm ピッチ^{5),6)}、80 μm ピッチ³⁾が試作されていることから、市販の厚膜ネガレジストと電鍍を組み合わせで80 μm ピッチの高密度実装用マイクロコネクタを試作した。コネクタの接続形態としては、ソケット、プラグを接続するタ

イブとソケットにFPC (Flexible Printed Circuit)等を接続するタイプがある。狭ピッチ化での顕著な問題としてピッチずれ（ソケットとプラグまたはFPCの接触部分のピッチ方向への位置ずれ）がある。ソケットにFPCを接続するタイプではソケットと狭ピッチFPCを別な工程で作製しなければならず、ピッチずれの問題を解決するのは困難である。そこで、本研究では、同一基板上で作製でき、ピッチずれの問題も軽減できるソケットとプラグの接続形態を選択して試作を行った。

試作したマイクロコネクタは100ピンで、厚さ50 μm 、最小幅15 μm 、最大アスペクト比3.3であり、端子間の最小ピッチは80 μm である。また、ソケット端子の寸法、形状を変化させプラグ端子とソケット端子間の接触力と接触抵抗の関係を調査し、微小寸法におけるコネクタの基本特性を求めた。これらの実験結果と考察に基づいて、マイクロコネクタの実用化に向けた課題を明らかにした。

2. マイクロコネクタの設計

2.1 形状の検討

一般に市販のコネクタにはFig. 1に示すようなフォーク型とカンチレバー型が採用されている⁷⁾。本研究ではコネクタの製作にUV フォトリソグラフィとNi電鍍を用いるため、これに適合した構造をもつコネクタの設計を行う必要がある。カンチレバー型コネクタの形状は3次元構造であるため、製作に多層プロセスが必要である。一方、フォーク型コネクタは3次元ではあるが、垂直投影構造であるため、単層プロセスで製作できる。以上の理由からフォーク型を採用した。フォーク型では、ソケット端子の先端部は、プラグ端子を挿入するために可動させる必要がある。そのため、ソケット端子の先端部と基板の間に犠牲層を設けた。犠牲層を除去することにより、ソケット端子の先端部は基板から浮き、プラグ端子の挿入時に基板に平行な面内で左右に開くことが可能となる。

2.2 ソケット・プラグ端子の設計

コネクタの高密度実装を実現するためにソケット・プラ

グ端子のピッチを80 μm とした。ピッチ80 μm のときのマイクロコネクタの仕様目標値を、Table 1のように設定した。特に接触力に関しては、従来コネクタに比べて端子の形状が小さく、従来の接触力を得ることができないため、目標ピッチで実現できる最大接触力をソケット端子の先端部変位と接触力の関係をFEM (Finite Element Method) 構造解析により求め、5.4 mNとした。また、接触抵抗に関しては、市販の300 μm ピッチコネクタの接触面積に対して、マイクロコネクタは約1/10になるため、接触抵抗は10倍の50 m Ω と設定した。許容電流に関しては、市販の300 μm ピッチコネクタの、半分の100 mAとした。従来のデータから定性的ではあるが、目標仕様を定めた。

ソケット・プラグ端子の各寸法をFig. 2のように決定した。解析にはバルクNi材のヤング率207 GPa、ポアソン比0.3を用いた。設定した接触力5.4 mNは、指標となる前述の円筒形コネクタの報告¹⁾の0.5 mNに対して、十分大きな

Table 1. Comparison of the micro connector with commercial minimum pitch

	Commercial connector	Micro connector (Target value)
Classification	Board to board	Board to board
Structure	Fork-type/Cantilever-type	Fork type
Pitch	300 μm	80 μm
Number of pins	20~100	100
Packaging density	3 pin/mm	12 pin/mm
Contact force	≥ 290 mN/pin	≥ 5.4 mN/pin
Contact resistance	≤ 5 m Ω	≤ 50 m Ω
Allowable current	≤ 200 mA	≤ 100 mA
Temperature	Operating temperature: -20~85°C (Including the exothermic temperature 30°C) Storage temperature: -40~85°C	Operating temperature: -20~85°C (Including the exothermic temperature 30°C) Storage temperature: -40~85°C

Fig. 1 Schematic of conventional connectors

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
a (μm)	15	30	30
b (μm)	10	20	20
c (μm)	20	30	30
l (μm)	200	200	250
t (μm)	50	50	50
F (mN)	5.4	42.8	21.9
u (μm)	5	5	5
Pitch (μm)	80	160	160

t : Thickness of terminal

F: Contact force when a socket terminal carries out 5 μm displacement

u: Displacement when a plug terminal is inserted in a socket terminal

Fig. 2 Schematic of socket and plug terminals

Fig. 3 Schematic view of micro connector

値である。

2.3 接続方式の設計

Fig. 3にマイクロコネクタの構造図を示す。マイクロコネクタの端子はマイクロメートルの寸法精度である。その挿抜を手動で行うことは困難であり、破損のおそれがある。そこで、Fig. 3に示すような2段階ガイドを採用し手動での挿抜を可能にした。ガイドは端子より先に接触するように設計した。第1ガイドはミリメートル精度で第2ガイドに誘導する。第2ガイドはマイクロメートル精度で端子を正確に嵌合させる。この2段階のガイドにより手動での嵌合を可能とする。ハウジングおよび第1ガイドは、アルミナで製作される。ソケット端子とプラグ端子はシリコン基板の絶縁層上にNi電鍍により形成され、第2ガイドは端子の外側に形成される。Fig. 4にプラグ、ソケットの組み立て図を示す。Fig. 5に示すように、プラグとソケットは対面させて嵌合させる。

3. 製作プロセス

UV厚膜レジストを用いたフォトリソグラフィとNi電鍍を組み合わせたマイクロコネクタの製作プロセスを、Fig. 6と以下に説明する。

- (a) 熱酸化：シリコン基板上に SiO_2 層を熱酸化により形成する。
- (b) 導電層形成：Cu/Crを真空蒸着により SiO_2 層上に堆積する。
- (c) 犠牲層形成：フォトリソグラフィとCu電鍍で形成する。
- (d) UVフォトリソグラフィ：UV厚膜レジスト（THB130N）により端子の電鍍用の型を形成する。
- (e) Ni電鍍：端子をNi電鍍で形成する。
- (f) レジスト除去：端子の型であるUV厚膜レジストを

Fig. 4 Schematic view of plug and socket

Fig. 5 Schematic view of inserted micro connector

Fig. 6 Fabrication process of micro connector

(a) Plug terminals

(b) Socket terminals

Fig. 7 SEM photographs of socket and plug terminals by Ni electroforming

除去する。

- (g) 犠牲層・導電層除去：Cu犠牲層，Cu/Cr導電層の順に除去する。
- (h) Auめっき：Ni構造体の防食のために，表面にAuを電気めっきする。
- (i) ダイシング：ダイサによりソケットとプラグのチップに分割する。

Fig. 7に試作したソケット端子とプラグ端子のSEM写真を示す。

4. 特性評価

4.1 接触力の測定

コネクタが安定した接触抵抗を保つために，適切な接触力の設定が重要である。そこで，プラグ・ソケット端子間の接触力と接触抵抗の関係を求めた。測定方法をFig. 8に示す。製作したマイクロコネクタのソケット端子を基板から1ピン取り，ガラス板上に接着剤を用いて接着し，カンチレバーを形成した。ソケット端子の接触部に超微小硬度計の圧子を当て，変位と荷重の関係を測定した。圧子は三角錐のダイヤモンド圧子を使用した。Fig. 2で示したSample 1の80 μm ピッチソケット端子ギャップ (b寸法) は10 μm であり，プラグ端子のc寸法は20 μm である。したがって，ソケット端子とプラグ端子が嵌合した場合，ソケット端子の接点部は片側5 μm 変位することになる。そこで，ソケット端子が5 μm 変位したときの荷重がソケット端子の接触力となるため，その荷重を測定した。結果をFig. 9に示す。

Fig. 9の接触力の測定結果は設計値 (Fig. 2) に対して約60%の値となっている。測定したマイクロコネクタの接触力が目標値より低い値を示した要因は，形成したNi電鍍構造体のヤング率が設計に使用したバルク材の値 (207 GPa) に比べて低いことが考えられる。ヤング率の低下は，Ni電鍍におけるガス泡やひけ巣などの微小欠陥により引き起こされる可能性がある。また，測定方法により接触力の値が小さくなった可能性もある。

Fig. 8 Measurement of contact force

Fig. 9 Displacement–Load characteristic (Sampl 1)

4.2 Ni構造体のヤング率の測定

ヤング率をオリバーが提案したナノインデンテーション法⁸⁾と走査型プローブ顕微鏡 (Scanning Probe Microscope; SPM) 内小型引張試験装置⁹⁾の2種類の方法を用いて測定した。まず，ナノインデンテーション法でヤング率の算出に必要な基礎式を式 (1), (2) に示す。

$$E = \frac{1-\nu^2}{2} S \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (1)$$

$$A = 24.5 \left(h - 0.75 \frac{P_{\max}}{S} \right) \quad (2)$$

ここで， E はヤング率， ν はポアソン比， S は除荷曲線における最大荷重時の勾配， A はナノインデンテーションの圧

Fig. 10 Displacement-Load characteristic (Sample 1)

子と被測定物との接触面積、 h は変位、 $P_{\max}$ は最大荷重である。まず、ナノインデンテーションによりNi電鍍の変位と荷重をFig. 10のように求めた。測定により求められた除荷曲線における最大荷重時の勾配と変位と最大荷重を(1)、(2)式に代入したところ、ヤング率は平均で153 GPaと算出された。

次にSPM内小型引張試験装置を用いて測定を行った結果、ヤング率は180 GPaであった。この装置は、SPMを用いてマイクロスケールの構造体の機械的性質を定量的に評価できる。また、前述の接触力の測定結果からヤング率を求めたところ試料1においては124 GPaとなり、バルク材の値(207 GPa)の59%であった。ヤング率の測定は被測定物の応力とひずみを直接測定するのが最も精度が高いが、これまでの微小構造体の引張試験法では試料寸法の制限からひずみ測定が困難であった。そこでまず、接触力の測定結果からカンチレバーの公式の逆算でヤング率を求める方法と、被測定物に押し付けられた圧子の形状を測定して簡便的にヤング率を求めるナノインデンテーション法を試みた。従来のバルク材であれば、これらの方法で実際の値に近い値を求めることができていたが、Ni電鍍の微小構造体ではバルク材の59%~73%となり、疑問を生じる結果となった。そのため、微小構造体の機械的性質を定量的に評価することを目的に研究開発⁹⁾されていたSPM内小型引張試験装置を用いてヤング率の測定を行った。その結果、引張試験法の測定精度が被測定物の応力とひずみを直接測定するために、前者に比べて高いため、Ni電鍍のヤング率は180 GPaと結論した。

4.3 Ni構造体の結晶粒の観察と密度測定

バルクNiとNi電鍍構造体とでヤング率に差がある原因が、Ni電鍍におけるガス泡やひけ巣などの微小欠陥により引き起こされる可能性があることから、結晶粒の違いを観察した。観察方法は、収束イオンビーム加工装置(Focused Ion Beam; FIB)を用いて断面加工した後に、その断面を走査型イオン顕微鏡(Scanning Ion Microscope; SIM)で観察した。Fig. 11にバルクNiと、Ni電鍍構造体の断面観察結果を示した。バルクNiとNi電鍍構造体で組織が異なって見

Fig. 11 The observation result of a crystal grain

Fig. 12 Measurement of contact resistance by four-point probe method

えるのは、バルク材が圧延加工によって作製されたものであるため、どちらも結晶化していることと緻密な結晶粒を有することが確認できた。バルクNiとNi電鍍構造体の平均結晶粒径はサブマイクロメートルオーダーであることが予想される。また、乾式自動密度計を用いて密度測定を行った結果、バルクNi 8.857 (g/cm³)、Ni電鍍 8.934 (g/cm³)であった。密度に関しては、わずかであるが電鍍品の方が高い値となったが両者はほぼ等しいと結論できる。

この結果と結晶粒観察結果より、Ni電鍍中にガス泡やひけ巣などの微小欠陥はないことが確認できた。しかし、SPM内小型引張試験装置で測定したヤング率とカンチレバーから求めた値には差があり、この原因は明らかでないが、FEM解析モデルと実際のカンチレバーの拘束条件の相違が1つの理由として考えられる。

4.4 接触抵抗の測定

接触抵抗は、Fig. 12のように四探針法を用いて測定した。製作したマイクロコネクタのソケット端子を基板から1ピン取り、ガラス板上に接着剤を用いて接着し、その後、同様にプラグ端子を基板より取りソケット端子に嵌合させた。測定電流は1 mAである。Fig. 2に示した接触力の異なる端子の接触抵抗を測定した。Fig. 13に示すように試料1では

Fig. 13 Contact force-Contact resistance

接触力が3.2~3.8mNで接触抵抗値50mΩ以下を達成でき、試料2では接触力が13.0~15.0mN、試料3では接触力が8.5~9.5mNで、それぞれの接触抵抗値は20mΩ以下まで減少することが確認できた。また、接触力が約8.5mN以上の領域では、接触抵抗値は約10mΩに漸近するような傾向が確認できた。

4.5 環境試験における抵抗値の測定

作製したマイクロコネクタを嵌合させ、初期抵抗値および10回挿抜後の抵抗値を測定し、下記環境条件下における抵抗値の変化を測定した。熱衝撃試験は熱膨張係数の異なる材質を組み合わせで作製したものに対して最も過酷な試験のひとつであり、混合ガス試験はAuめっきの信頼性を確認するのに適した試験であるため、今回はこの2種類の試験を実施することにした。試験条件は、熱衝撃試験はJIS C0025、混合ガス試験はJIS C0048に準拠している。ここで、抵抗値とは接触抵抗値と導体抵抗値の和である。

〔I 熱衝撃試験〕

-40°C 30min. 保持後、引き続き85°C 30min. 保持を1サイクルとして25サイクル繰り返し

〔II 混合ガス試験〕

槽内温度35°C、混合ガス濃度SO₂ 1ppm, NO₂ 1ppm, H₂S 0.5ppm

Fig. 14に熱衝撃試験における抵抗値の変化と、混合ガス試験における抵抗値の変化を示した。環境試験の結果、初期抵抗値に比べて、環境試験中および試験後の抵抗値が変化しない接点と変化する接点があることが確認された。抵抗値が変化する原因を調査するために、抵抗値の変化があった接点となかった接点の形状を走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope; SEM)で確認した。Fig. 15に示すように特に形状の差異は確認されなかった。

エネルギー分散型蛍光X線分析装置(Energy-dispersive X-ray Spectroscopy; EDX)で接点表面の成分分析を行ったところ、抵抗値が安定していた端子では、Auが検出され、Auめっきが施されていることが確認できたが、抵抗値が増加

Fig. 14 Graph of changed value of resistance

Fig. 15 Shape of contact

した端子ではAuの検出が安定していた端子に比べて少なかった。EDX分析でAuの検出が少なかった理由として、AuのNi中への拡散、端子の挿抜によるはがれや、初期よりめっきが少ないことが考えられる。EDX分析ではAuがNi中へ拡散した場合でもAuの組成は検出される。挿抜によるはがれに関しては、Auの少ないことの原因として考えられるが、Fig. 15を見る限り構造体の右側にAuめっきが確認できるが左側には確認ができない。Auめっきは無電界

Fig. 16 Current-Rise temperature characteristic

めっきを採用しており、これは図中構造体の右側が表面であり、左側が基板側であることから、Auめっきのはがれではなく、めっき液が接点部（ギャップ寸法10 μ m）へ、十分行きわたらなかったものと考えられる。

一般的に接触力が低い接触の場合、耐腐食性を向上させ、電気的接触を安定させる目的として接点部分にAuめっきを施す。本試験での抵抗値の増加は、Auめっきが施されている部分が少なかったため、耐腐食性の低いNiが接触部分となり、接点の接触抵抗値を増加させたものと考えられる。

4.6 温度上昇と許容電流値の測定

試作したマイクロコネクタの許容電流値を確認するために、通電時の温度上昇を測定した。測定方法は嵌合させたマイクロコネクタ（1ピン）のソケット端子とプラグ端子を熱電対の上に配置し電流を通電し、温度上昇が安定したときの温度を測定した。室温からの許容上昇温度を30 $^{\circ}$ Cとしたときの最大電流値は試料1で400mAであり、設計仕様値(100mA)を十分満足することがわかった。Fig. 16に通電電流と上昇温度の関係を示す。ここで、試料2と3は試料1に比べて導体抵抗値が低いので許容温度上昇が30 $^{\circ}$ C時の許容電流値はさらに高くなるため、今回は試料1のみの測定を行った。

5. 考 察

今回設計した端子ピッチ80 μ mのマイクロコネクタのフォーク端子は、接触力が設計値の60%であり、接触抵抗値は40m Ω 以下であった。接触抵抗は目標値の50m Ω 以下で、目標を達成できたが、安定した接触抵抗値を確保することはできなかった。ここで、接触力が設計値の60%であったことは、結晶粒の観察、密度の測定結果から、Ni電鍍中にガス泡やひけ巣などの微小欠陥等がないことが確認できたにもかかわらず、ヤング率がNi電鍍の微小構造体と従来のバルク材料で異なる値を示したことに起因するものであると判断する。また、FEMとカンチレバーの拘束条件の相違もその要因であると考えられるため、今後拘束条件の検討も行っていく。

さらに、結晶粒径や結晶方位までは定量的に観察できて

Fig. 17 Comparison of packaging density commercial and micro connector

いないため、今後調査を継続して行い、微小構造体を形成する構造材料で、従来のバルク材料とは異なる変形挙動を発現する原因を解明していく。環境試験と接点部の形状および成分分析の結果から、接点にAuめっきを確実に行えば、安定した電気的接触が得られると判断する。さらに接触抵抗の安定化を目指し端子形状を再設計し、高温環境、振動環境等条件を追加してマイクロコネクタの問題点を確認する必要があると考える。また、作製プロセスにおいても、微細な隙間にAuめっきを確実に行う方法として、めっき液のかくはん技術を確立する必要があると考える。

6. まとめ

UV厚膜レジストによるフォトリソグラフィとNi電鍍の組み合わせにより端子ピッチ80 μ mのマイクロコネクタの試作を行った。Fig. 17に試作した100ピンのマイクロコネクタ（端子ピッチ80 μ m）と従来コネクタ（端子ピッチ500 μ m）の寸法比較を示す。試作したコネクタの端子単体ではあるが接触力、ヤング率、接触抵抗、許容電流値を測定評価した。環境試験に関してはアルミナ製ハウジングに組み込んだ状態での試験を行うことができた。評価の結果、初期接続状態における接触抵抗値の結果から、コネクタとしての基本性能を満足することができたが、長期信頼性の点では満足いく結果は得られなかった。しかし、従来のマイクロコネクタの研究では実施されていなかった環境試験を初めて実施することにより、次世代のIT産業で利用できる高密度実装用マイクロコネクタの開発に向けた具体的課題を明らかにした。

(2004.5.6-受理)

文 献

- 1) H. Okuyama, T. Haga, K. Emura and H. Takada: "DEVELOPMENT OF MICROCONNECTOR WITH AUTOMATIC CONNECTING/DISCONNECTING MECHANISM", Proceedings of 12th IEEE International MEMS Conference, pp. 257-262, 1999
- 2) M. Takeda, K. Namura, N. Shibaike, T. Haga and H. Takada:

- "Development of Chain-Type Micromachine for Inspection of Outer Tube Surfaces (Basic Performance of The 1st Prototype)", Proceedings of MEMS 2000, pp. 805–810, 2000
- 3) W. Ehrfeld: "The LIGA process for Microsystems", Micro System Technologies on Micro Opto Mechanic System and Components, pp. 521–528, 1990
- 4) H. Toshiyoshi, Y. Mita, M. Ogawa and H. Fujita: "Micro Electrical Connector by Silicon Anisotropic Etching", 生産研究, Vol. **49**, No. 12, pp. 612–614, 1997
- 5) 高田博史: "「金属」特集・マイクロマシンと材料技術-LIGAプロセス", 金属, 1993年3月号, pp. 38–44, 1993
- 6) 昭和電線電纜, JP patent, 特許出願公開番号 特開平5-326057, 1993
- 7) コネクタ最新技術 '99 編集委員会編: "コネクタ最新技術 '99", 日本アドバンステクノロジー, 1999
- 8) W. C. Oliver and G. M. Pharr: "An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments", J. Mater. Res., Vol. **7**, No. 6, pp. 1564–1583, 1992
- 9) Y. Isono, J. Tada, T. Watanabe, T. Unno, T. Toriyama and S. Sugiyama: "Elevated Temperature Tensile/Creep Test of UV-LIGA Nickel Thin Film for Design of High-Density Micro Connector", Proceedings of Transducers '03, pp. 456–459, 2003