

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760513
 研究課題名（和文） 電子デバイス用基板材料の三次元成形法の開発
 研究課題名（英文） Development of Three-Dimensional Forming Method for Base Materials of Electronics Devices
 研究代表者
 大津 雅亮 (OTSU MASAOKI)
 熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
 研究者番号：20304032

研究成果の概要：

通常は強い力を加えると割れてしまうため三次元成形が難しい電子デバイス用の基板材料であるシリコンや次世代の電子デバイスの基板材料として期待されている金属ガラス箔をレーザ照射によって曲げ加工する方法を開発し、そのための装置の作成と成形条件の探査を行った。出力 50W の YAG レーザを使い、厚さ 0.05mm のシリコン箔と 0.017mm の金属ガラス箔の成形条件を求めた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	0	2,200,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 材料加工・処理

キーワード：レーザ加工, 基板材料, マイクロデバイス, 三次元成形

1. 研究開始当初の背景

高機能 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)デバイスあるいは高密度集積電子デバイスは、IT(情報技術)あるいはバイオ・医療技術など次世代の基盤技術として、実用化を目指した研究が世界的な規模で進められている。このような超微小デバイスは基板材料の上に成膜およびエッチングを繰り返して製造している。基板の上に様々な超微小デバイスを作成するが、基板が平面であるために作成される超微小デバイスも平面である。三次元的な形状を持つような超微小デバイスを作成することができれば、性能・機能が

飛躍的に向上する。しかしながら、これらの超微小デバイスは主に半導体プロセスと呼ばれる基板の上に薄膜を蒸着し、フォトリソグラフィを施すことを繰り返して作成するため、基板にぴったりと貼付いて成形されるが、現在使用されている基板が平面であるため、平面的なデバイスしか作成できない。これらの基板は非常に薄く、また代表的な基板材料であるシリコンやガラスは非常に脆性的であるために、基板自体を三次元的な形状に作成することは困難である。また、基板を三次元的な曲面で成形できても、曲面状の基板上に超微小デバイスをうまく作製する技術も十

分に開発されていない。

申請者らは、主に金属材料を対象として、レーザフォーミング法という加工法を使って、電子部品の微小変形加工から自動車部品などに使用される異種接合板材（テラードブランク）の非接触塑性加工法について研究を行ってきた。このレーザフォーミング法とは、レーザ照射による局所的急速加熱によって発生する熱応力を利用して板状の素材の曲げ加工を行う方法であり、レーザ照射の走査形状を変えることによって様々な三次元形状が作成可能である。加工部が瞬間的に高温になりまた外部から力を加えないので、金属材料でも加工の難しいチタン合金の加工にも使われてきた。申請者らは、この加工法は高温での圧縮加工による曲げ加工のため、引張り加工には弱いですが圧縮加工に強い脆性材料の加工に適していると考え、既にレーザフォーミング法を用いて厚さ $20\mu\text{m}$ のガラス箔および厚さ $50\mu\text{m}$ の単結晶シリコン箔の曲げ加工が可能であることを確認している。（大津雅亮，福川光，高島和希，シリコンおよびガラス箔のレーザフォーミング，平成 18 年度塑性加工春季講演会講演論文集，(2006), 103-104.）この加工法を応用することにより基板を三次元的な曲面に成形することができ、その基板の上に超微細デバイスを作成することが可能になる。また、平面基板上に超微細デバイスを作製しておき、その後に基板自体を変形させてデバイスに三次元構造を持たせることも可能である。このようにこの加工法を応用することにより三次元的な構造を持つ次世代の高性能・高機能な超微細デバイスの作製に大きく寄与できることになる。

2. 研究の目的

本研究では、レーザフォーミング法を用いて超微細デバイスの作製の際に基板となるシリコン，ガラス，セラミックスなどの箔材の三次元成形法を開発する。

(1) ガラスについては成形に成功してもレーザ照射直後から数日後に割れることが問題となっている。この原因を解明し、ガラス箔の三次元成形法を確立する。

(2) シリコン箔は結晶に対してある特定の方向にしか曲げ加工ができていないため、成形時の材料流動のメカニズムと結晶方位との関係を解明し、シリコン箔の三次元成形法を確立する。

(3) セラミックス材料についてはまだ成形可能な材料が見つからないが、成形可能な材料物性の条件を検討し、それに適するセラミックス材料について加工を行い、レーザフォーミング法による三次元成形が可能なセラミックス材料を見つけ、三次元成形法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 加工装置の製作

最適加工条件の決定や三次元成形をする際の繰返し加工を行う場合には、加工—形状計測—加工を繰返す必要があるため、試験片を加工位置—形状測定位置の間で正確に移動させるためには X, Y 方向に数値制御可能なテーブルを使用し、試験片は非常に薄くて脆い材料であるから、形状測定の際に力が加わると破壊する可能性があるため非接触方式のレーザ変位計を用いて三次元形状を測定する必要がある。加工に際してはデフォーカス量を正確に設定できる様に Z 方向の自動テーブルも使用した。以上よりレーザヘッドから自動で X, Y, Z 方向に移動するための XYZ 自動加工テーブルとレーザ変位計を用いた、加工と形状測定が行える実験装置を製作した。

(2) 成形可能な加工条件の探索

三次元成形に必要な加工特性を把握するためにはまず直線状にレーザを走査し、直線状の折曲げ加工で評価した。長方形の短冊状に切断した試験片に対して、長手方向のちょうど中間の位置を短辺に平行な直線にレーザを走査してそのときの変形量の測定と断面の顕微鏡観察を行った。

(3) 最適加工条件の探索

前年度の研究成果で単結晶シリコンおよびパラジウム基金属ガラス箔の成形可能な加工条件の範囲を求めることが出来たため、加工効率に対する最適加工条件、成形精度に対する最適加工条件、加工後の各種機械的特性（硬さ，引張強さ，疲労強さなど）が最も優れた状態となるような最適加工条件など、様々な評価対象に対する最適加工条件を決定した。

(4) 三次元成形

(3) で求めた各評価対象に対する最適加工条件を用いて、マイクロデバイスで利用できる円筒面，らせん形状などの三次元成形を行った。

4. 研究成果

(1) 加工装置の作製

現有の YAG レーザマーカ，X-Z 自動ステージ，ライン走査型レーザ変位計を組合せて，加工—形状計測—加工・・・が自動で行えるような加工装置を制作した。また加工中の被加工材の表面温度を計測できるようにファイバー式放射温度計を購入し，上記の加工装置に設置した。

(2) 成形可能な加工条件の探索

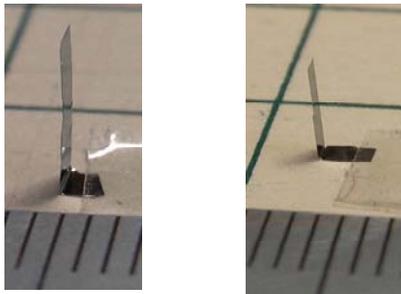
厚 0.05mm の単結晶シリコン箔と厚さ 0.017mm の $\text{Pd}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{20}$ 金属ガラス箔，厚さ 0.028mm の $\text{Pd}_{77}\text{Cu}_6\text{Si}_{17}$ 金属ガラス箔を試料とした。

①単結晶シリコン箔はレーザ出力22-28W, 走査速度35-65mm/s, デフォーカス距離-7.5~7.5mmで変形が確認された。またレーザ発振モードは連続発振の方がQスイッチパルスモードよりも大きく変形し, Qスイッチ発振周波数は大きく連続発振モードに近い方が変形が大きくなった。最大曲げ角は72.3°であった。



Bent single crystalline silicon

② Pd₄₀Ni₄₀P₂₀金属ガラス箔はレーザ出力1~2.5W, 走査速度20~70mm/s, デフォーカス距離-24~7.5mmで変形が確認された。またレーザ発振モードは連続発振よりもQスイッチパルスモードの方が大きく変形し, Qスイッチ発振周波数2.5-12.5kHzで安定して変形したがそれ以上では変形が不安定となった。加工後はアモルファス状態であることが確認された。最大曲げ角は86.5°であった。



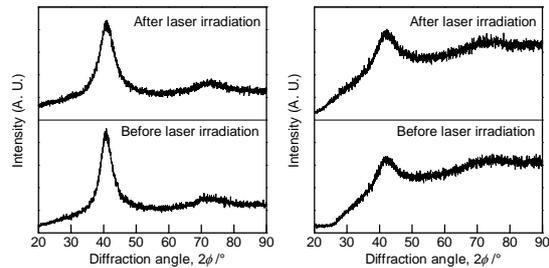
(a) Pd₇₇Cu₆Si₁₇ (P=3.0W, θ=89.0°)
(b) Pd₄₀Ni₄₀P₂₀ (P=1.5W, θ=86.5°)
Fig. Appearance of formed specimens. (v=40mm/s, f=3.0kHz, N=80)

③Pd₇₇Cu₆Si₁₇金属ガラス箔はレーザ出力1~6W, 走査速度20-60mm/s, デフォーカス距離-4~4mmで変形が確認された。またレーザ発振モードは連続発振よりもQスイッチパルスモードの方が大きく変形し, Qスイッチ発振周波数2.5~5.0kHzで安定して変形したがそれ以上では変形が不安定となった。加工後はアモルファス状態であることが確認された。最大曲げ角は89.0°であった。

(3) 最適加工条件の探索

①Pd基金属ガラス箔として厚さ0.017mmの

Pd₄₀Ni₄₀P₂₀金属ガラス箔, 厚さ0.028mmのPd₇₇Cu₆Si₁₇金属ガラス箔を試料とした。レーザには波長1064nmのYAGレーザを用いた。レーザ出力, レーザ走査速度およびQスイッチ周波数を変えて加工を行った結果, Pd₄₀Ni₄₀P₂₀についてはレーザ出力3.0W, Qスイッチ周波数3.0kHz, 走査速度40mm/sが最適で, Pd₇₇Cu₆Si₁₇についてはレーザ出力1.5W, Qスイッチ周波数3.0kHz, 走査速度40mm/sが最適であることがわかった。また, これらの加工条件で成形したものは, レーザ照射後も結晶化せずにアモルファス状態であることが確認された。



(a) Pd₇₇Cu₆Si₁₇ (P=3.0W, v=40mm/s, f=3.0kHz, N=80, θ=85°)
(b) Pd₄₀Ni₄₀P₂₀ (P=2.0W, v=40mm/s, f=3.0kHz, N=80, θ=81°)
Fig. Micro-XRD patterns of specimen before and after laser forming.

② 厚さ0.05mmの単結晶シリコン箔を試料とした時は, レーザ出力25W, レーザは連続発振であるCWモード, 走査速度50mm/sが最適であることがわかった。これらの加工条件で成形したものは, レーザ照射部近傍では単結晶ではなく多結晶化していることが確認された。

(4) 三次元成形

単結晶シリコン箔, Pd₄₀Ni₄₀P₂₀金属ガラス箔, 金属ガラス箔をそれぞれ短冊状に切断したものを試料とした。短冊形状の長手方向に対して斜め方向にレーザを走査することによって, マイクロスプリングやマイクロアクチュエータとして利用できる可能性のあるらせん形状に成形することが出来た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2)

- ① Masaaki Otsu, Yuki Ide, Junpei Sakurai, Seiichi Hata, Kazuki Takashima, Laser Forming of Thin Film Metallic Glass, Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 3-2(2009), 387-396. 査読有
- ② Jumpei Oka, Masaaki Otsu, Kazuki Takashima, Laser Forming of Single Crystalline Silicon Foils, Journal of

Solid Mechanics and Materials Engineering, 3-4(2009), 679-690. 査読有

〔学会発表〕(計 13 件)

- ① 大津雅亮, Pd 基金属ガラス箱のレーザフォーミング, 日本塑性加工学会西日本若手技術交流会, 2008 年 11 月 14 日, 名古屋市
- ② 大津雅亮, レーザフォーミングを用いた Pd 基金属ガラス箱の成形, 第 143 回日本金属学会秋期大会, 2008 年 9 月 23 日, 熊本市
- ③ 大津雅亮, Pd 基金属ガラス箱のレーザフォーミング, 日本金属学会九州支部日本鉄鋼協会九州支部共催平成 20 年度合同学術講演大会, 2008 年 6 月 7 日, 福岡市
- ④ 大津雅亮, 金属ガラス箱のレーザフォーミング, 平成 20 年度塑性加工春季講演会, 2008 年 5 月 23 日, 習志野市
- ⑤ 大津雅亮, Bending of Pd-Based Thin Film Metallic Glasses by Laser Forming Process, The 2nd International Student Conference on Advanced Science and Technology, 2008 年 12 月 22 日, 北京(中国)
- ⑥ 大津雅亮, Bending of Pd-based Thin Film Metallic Glass by Laser Forming, Materials Research Society Fall Meeting, 2008 年 12 月 1 日, ボストン(米国)
- ⑦ 大津雅亮, Laser Forming of Thin Film Metallic Glass, 3rd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing, 2008 年 10 月 7 日, シカゴ(米国)
- ⑧ 大津雅亮, Laser Forming of Single Crystalline Silicon, 3rd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing, 2008 年 10 月 7 日, シカゴ(米国)
- ⑨ 大津雅亮, Bending of Single Crystalline Silicon and Borosilicate Glass Foils by Laser Forming, 9th International Conference on Technology of Plasticity, 2008 年 9 月 7 日, 慶州(韓国)
- ⑩ 大津雅亮, Laser Forming of Pd-Based Thin Film Metallic Glass, 4th KU-KITECH Symposium on Bulk Metallic Glasses and Advanced Materials, 2008 年 5 月 19 日, 熊本市
- ⑪ 大津雅亮, Laser Forming of single crystalline silicon, The 1st International Student Conference on Advanced Science and Technology, 2008 年 3 月 14 日, 熊本市
- ⑫ 大津雅亮, Laser Forming of Single Crystal Silicon, Asian Workshop on Nano / Micro Forming Technology, 2007 年 10 月 26 日, 札幌市
- ⑬ 大津雅亮, 単結晶シリコンのレーザフォーミング, 日本金属学会九州支部日本鉄鋼協会九州支部共催平成 19 年度合同学術講演大会, 2007 年 6 月 8 日, 熊本市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大津 雅亮 (MASAAKI OTSU)

研究者番号 : 20304032