

超小型通電焼結装置を利用した微細構造部品の作製

京都大学大学院 工学研究科
講師 津守 不二夫
(平成16年度研究開発助成AF-2004024)

キーワード：通電焼結，微細構造，粉末冶金

1. 研究の目的と背景

粉末材料から複雑な形状を Net-Shape あるいは Near-Net-Shape で成形することができる粉体成形プロセスは小型部品の製作にも適しており，広範な材料選択が可能，材料の歩留まりがよい，型の形状に応じて複雑な形状の成形体も容易に得られる等の利点がある．また，近年マイクロメートルオーダーの微細形状製品への応用も進んでいる．微細加工分野は半導体技術が産業を牽引しているが，現状では材料の選択肢の幅が狭く，粉末冶金プロセスは有効な手段と考えられる．このような粉末冶金プロセスにおいて近年注目されている技術のひとつに，直流パルス電流を導電型や圧粉体に直接通電し，成形・焼結を同時に行う通電焼結プロセスがある．プロセス時に放電が影響するとして従来より SPS (Spark Plasma Sintering) プロセスとも呼ばれている．通電焼結では導電性のダイに材料となる粉末を充填し，導電性のパンチで加圧しながらパルス電流を圧粉体に直接通電することによって粒子間隙で火花放電やジュール熱を発生させ焼結する．本研究ではこの通電焼結プロセスを小型化し微細加工に応用することを考える．従来の SPS 法では数 10～100 mm 程度の型に数百アンペア以上の大電流を印加することによって焼結を行っていた．製品が微細な場合は通電面積を大きくする必要はなく，これまでの高価で大型の電源装置を必要とせず，実験サイクルも非常に高速化可能となり大きなメリットがある．

2. 小型通電焼結装置

Fig.1 に本研究で開発した小型 SPS 装置の概略を示す．荷重は卓上型材料試験機により行う．上パンチと下パンチはグラファイト製であり電源に接続され，粉末に通電される．型は実験により石英管およびステンレス製のものをを用いた．パンチはそれぞれセラミックス板により絶縁されラムに固定される．温度測定はマイクロスポット赤外線放射温度計により測定した．石英管を利用した場合は直接加熱された粉末温度を測定することが可能である．ステンレスの型の場合は型表面温度を測定する．電源は定電流電源を用い，0～25 A の範囲で制御する．中心となる部位は上下ラムを含めて真空容器に収められ，

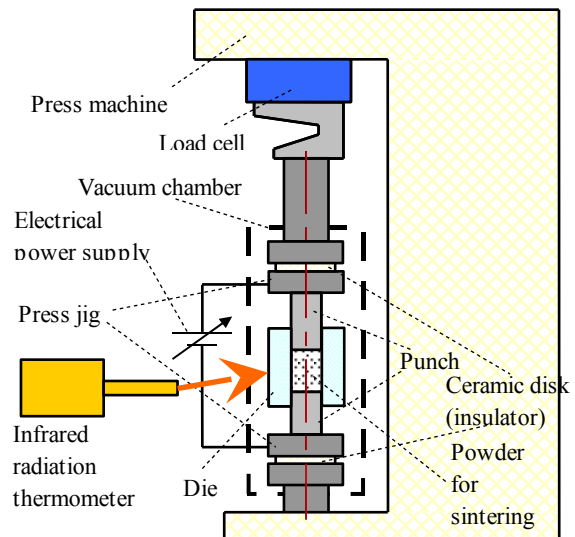
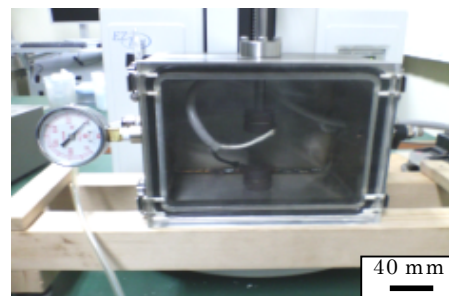
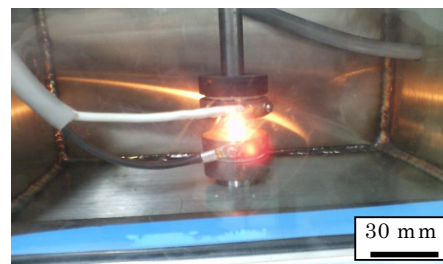


Fig. 1 小型 SPS 装置概要．



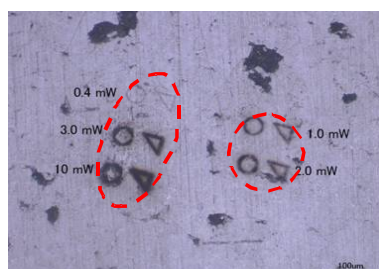
(a)



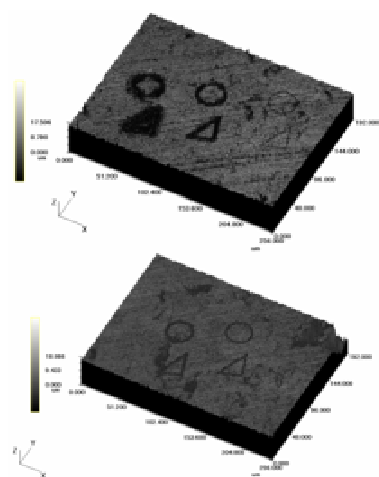
(b)

Fig. 2 装置概観：(a) チャンバ部，(b) 通電実験中チャンバ内部．

雰囲気制御が可能である．Fig.2 には通電部の写真を示す．Fig.2 (a) は真空チャンバ，Fig.2 (b) は通電中の状況である．従来の大型装置と比べ非常にコンパクトな装置となっている．以降，この装置を利用した微細構造の作製例を示す．



(a)



(b)

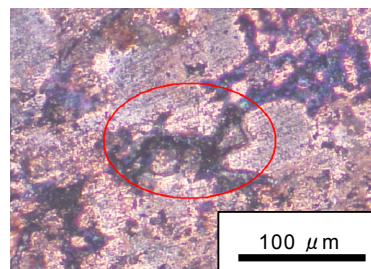
Fig. 3 レーザー加工によるグラファイト上微細パターン(a)光学顕微鏡写真, (b)凹凸マップ。

3. 実験条件

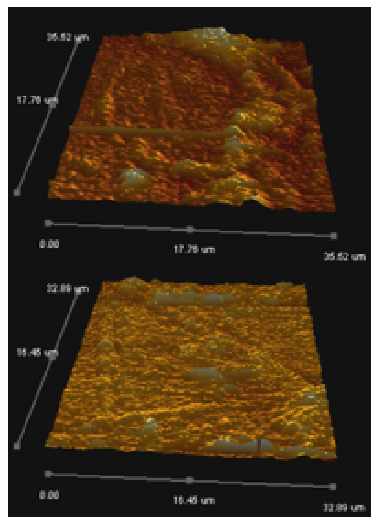
粉末材料としては微粒径の銅粉末（粒径 100 nm）を準備した．型としては下パンチ表面にレーザー加工により溝を作ったものである．Fig. 3(a)にレーザー加工をおこなったパターンの光学顕微鏡写真である．Fig. 3(b)は凹凸マップを示す．グラファイト表面に○および△の溝パターンが刻まれている．レーザー出力調整により 0.4～10 μm の幅・深さのパターンが生成できている．

4. 実験結果

Fig. 4 は銅ナノ粉末をレーザー加工で作製した型に充填し SPS 焼結した結果である．10 mW のレーザー出力による深さ・幅共に約 10 μm の型を利用した例である．焼結体にもパターンが転写されている．Fig. 4 (b)に示す AFM パターンによると線幅は 2 μm ，パターンの深さは 0.4 μm となっており，パターンの底部にまでは粉末が達していないことが分かる．また，粉末の初期凝集塊の影響によりパターン以外に不規則な凹凸が表面に残っている．この結果より凝集塊を破壊する充填，および加熱・加圧条件を調整する必要がある．



(a) Optical micro image



(b) AFM image

Fig. 4 銅ナノ粉末による微細パターン転写結果．

5. まとめ

本研究では微細パターンを効率良く作製できる超小型通電焼結装置を開発した．微細パターンの作製のためには，レーザー加工等を施したグラファイト型を利用した．粉末材料として銅ナノ粉末を利用した場合には 10 μm 程度の微細パターンを転写することが可能であった．微細パターンの転写を完全に行うためには，さらに圧力等の条件を調整する必要がある．また，凝集塊の影響を除去するためには充填方法についても考慮する必要があると考えられる．従来より SPS 装置による焼結では焼結温度の低下が可能とされるなど，材料学的にも多くの興味深い知見が得られている．このようなメカニズムの解明のためにも，本研究で開発したような安価で実験サイクルの早い装置は重要である．

6. 謝辞

本研究の一部は（財）天田金属加工機械振興財団の研究助成により行われました．また，本研究の遂行にあたりましては，京都大学大学院工学研究科の故島進教授より多大なご指導をいただきました．ここに感謝の意を表します．