

SiC-MEMS パーツ作製のための μ 泥しょう 鋳込み成形法の開発

兵庫県立大 ○百濟 裕之, 兵庫県立大/JST さきがけ 生津 資大, アート科学 長谷川 良雄
 兵庫県立大 吉木 啓介, 兵庫県立大 井上 尚三

Fabrication of PCS-Derived Si-C Ceramics MEMS using Micro Slip Casting Technique

University of Hyogo Hiroyuki Kudara, University of Hyogo/JST PRESTO Takahiro Namazu,
 ART KAGAKU Co.,Ltd Yoshio Hasegawa, University of Hyogo Keisuke Yoshiki,
 University of Hyogo Shozo Inoue

A new fabrication technique for silicon carbide (Si-C) microelectromechanical systems (MEMS) is described. Slip casting using UV-thick photoresist SU8 micro mold was carried out for fabrication of three-dimensional Si-C MEMS parts. Ultrahigh molecular weight polycarbosilane (PCS) was used as the precursor. Si-C nano powder was firstly mixed with a PCS solution, and then the slips were cast into SU8 micro mold fabricated on porous tungsten carbide (WC) plate. Firing at 1273K was conducted for SU8 evaporation and PCS pyrolysis simultaneously. We have succeeded in producing Si-C ceramics micro gears using the “ μ slip casting” technique. The influences of WC plate porosity and the number of casting cycles on the shape of the produced Si-C MEMS are discussed.

1. 諸言

近年、半導体微細加工技術を応用したマイクロマシニング技術の発達により、微小電気機械システム (MEMS) の研究が盛んに行われている。その中で、動力やエネルギーを発生させるために作られる MEMS を総称して Power MEMS と呼ぶ。Power MEMS には使用温度が数百度となるものもあり、その構造材料には優れた機械特性と耐熱性の双方が要求される。MEMS 基礎材料として使用されている単結晶 Si は耐熱性に乏しく、Power MEMS には適さない¹⁾。焼結や CVD 法によって作られた耐熱セラミックスは、微細加工が困難²⁾なため、Si に替わる新たな基礎材料の開発が求められる。

本研究では、超高分子量ポリカルボシラン (PCS) を前駆体とし、泥しょう 鋳込み成形法を用いた高耐熱性・高強度の SiC マイクロパーツを作製するための技術開発を行う。本報では、マイクロサイズの SiC パーツを作製するために、タングステンカーバイド (WC) 基板と SU-8 マイクロモールドを組み合わせた“ μ 泥しょう 鋳込み成形法”を用いてマイクロサイズの 3 次元複雑構造体の作製を試みた成果を報告する。

2. μ 泥しょう 鋳込み成形法

本研究では、SiC ナノパウダーと PCS から成るスラリーを鋳形に流し込み、独自成形技術である“ μ 泥しょう 鋳込み成形法”により SiC マイクロパーツ化している。Fig.1 に示すように、この工法では、泥しょう 鋳込み時の鋳形として多孔質 WC 基板と厚膜フォトレジスト SU-8 を組み合わせた SU-8 マイクロモールドを用いる。スラリーは、PCS と SiC のナノパウダーを混合して作製し、鋳込み装置を用いて鋳形に注入する。鋳込み時に、基板上部と下部からそれぞれ加圧・減圧を行うことで、モールド内のスラリーを効率よく固液分離しながらモールドの隅々にまで行き渡らせている。その後、PCS の分解温度以上で焼成^{3, 4)}すると、微細かつ複雑形状の SiC マイク

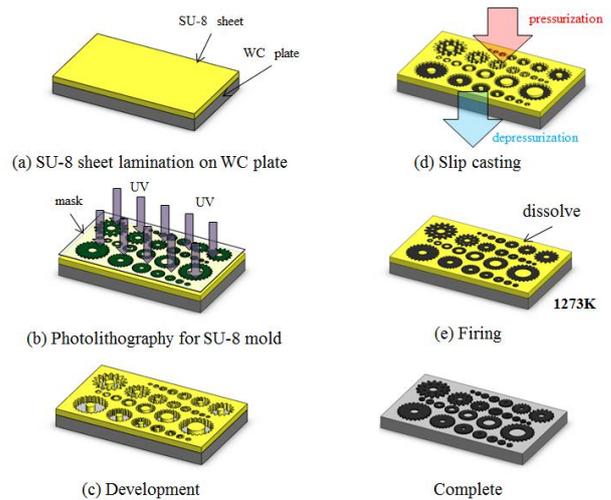


Fig.1 Fabrication process of SU-8 micro mold

Table 1 Result of SU-8 micro mold fabrication on WC plate

Laminate temperature [°C]	Exposure time [s]	PEB time [h]	Porosity [%]						
			7.9	11.1	11B	20.45	20.45B	23.9	23.9B
55	50	6	○	○	△	×	×	×	×
	75		△	○	○	△	×	×	×
	150		△	△	△	×	×	×	×
65	50	6	○	○	△	△	×	×	×
	75		○	○	△	△	△	×	×
	150		○	○	○	△	△	△	△
75	50	6	○	○	×	△	△	△	△
	75	6	○	○	△	○	○	△	△
		9	○	○	△	△	○	△	△
		12	○	○	○	○	△	○	○
		150	6	○	○	△	△	△	○

3. SU-8 マイクロモールド

3-1. タングステンカーバイド (WC) 基板

WC 基板の吸水性は、泥しょう 鋳込みに重要である。本研究では、気孔率の異なる 7 種類の粉末成形 WC プレートに泥し

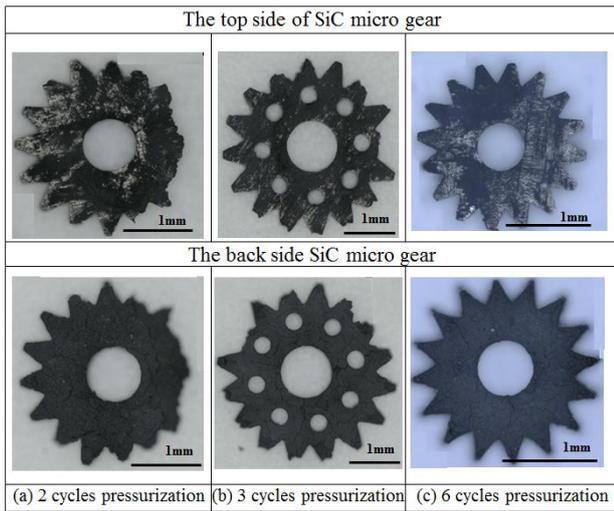


Fig.2 SiC micro gears fabricated by micro slip casting using WC plate with the porosity of 11.1%.

よう鑄込みの基板として採用した。吸水性測定の結果、気孔率の増加に伴って吸水時間が短縮した。これは、鑄込み全体に要する時間が短くなることを表している。

3-2. SU-8 マイクロモールド作製

ネガ形厚膜フォトレジストのSU-8は、約450°Cで焼失する。このSU-8を鑄形のモールド材として用いることで、焼成後にSiC パーツを鑄形から容易にリリースできる。本研究では、SU-8 マイクロモールドをWC基板上に形成するための最適作製条件の抽出を試みた。

Table 1 に作製条件と剥離度合を示す。表中の○は剥離なし、△は部分剥離、×は全面剥離を表している。SU-8 モールドの密着力は、高ラミネート温度、長露光時間、および、低気孔率基板条件で向上することがわかる。露光時間75sでのパターンングが最適であった。本研究では、SU-8 マイクロモールドの最適作製条件を、ラミネート温度75°C、露光時間75s、PEB時間および温度をそれぞれ12h、55°Cと決定した。

4. SiC マイクロ歯車作製結果

Fig.2 に示すように、加圧回数6回では歯先の欠損がなく、寸法形状の優れたSiC マイクロ歯車が得られた。また、その表面より裏面に多くのクラックが存在している。これは、SiC パーツの基板側の方が、クラックが多いことを示しており、基板表面の凹凸や粒径による鑄込速度の違いなどが、クラック生成に関与していると考えられる。クラックの発生は成形体の破壊を引き起こす恐れがあるため、クラックの軽減、制御が不可欠である。

Fig.3 に、歯車表面に占めるクラックの割合と基板気孔率との関係を示す。同図より、低気孔率基板の使用によって、SiC パーツ表面のクラック割合が減少していることがわかる。これは、使用基板の気孔率の違いが総鑄込み時間に及ぼす影響が関係している。一般に、鑄込み時、粒径の大きな粒子が小さな粒子より先に下部へ沈降する。高気孔率基板では全体の鑄込み時間が短いため、小粒子が大粒子の隙間に入り込む時間がなく、結果として、成形体の厚み方向で粒径の違いが生じて成形体下部にクラックが生じ易くなる。一方、低気孔率基板の場合、総鑄込み時間が長くなり、小粒子は自由な運動

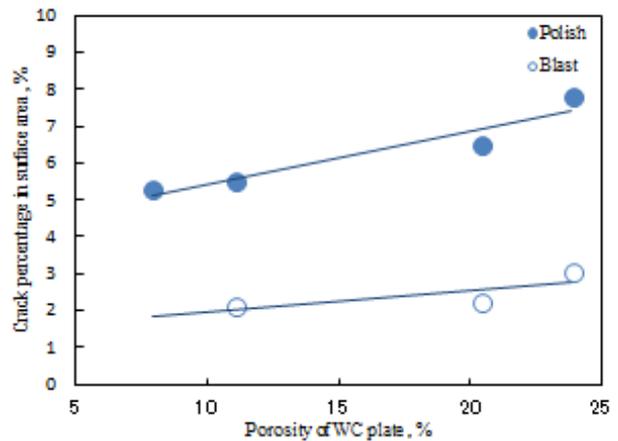


Fig. 3 Relationship between porosity of WC plates and the ratio of the crack at 6 cycles pressurizations.

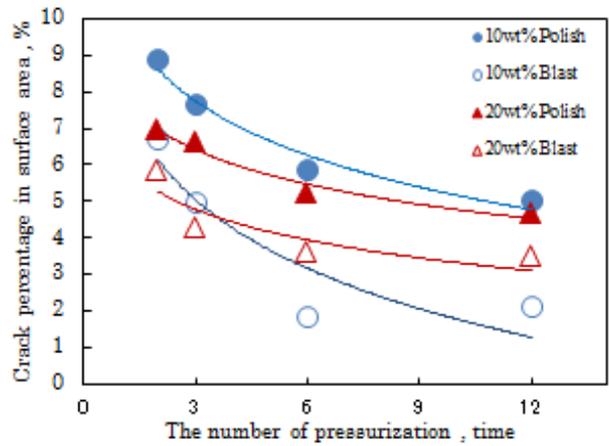


Fig. 4 Relationship between the number of pressurization and the ratio of crack using WC plate with the porosity of 11.1%.

ができるために、大粒子の隙間に入り込むことができる。この違いが、生成されるクラックの数に影響したと考えられる。

Fig.4 に、SiC パーツ表面に占めるクラックの割合と加圧回数との関係を示す。同図より、加圧回数の増加に従い、クラックの割合が減少していることがわかる。加圧回数が少ない場合、加圧1回あたりのスラリーの厚みが厚くなるため、加圧時に小粒子は自由に移動しにくい。一方、加圧回数が多い場合、加圧1回あたりのスラリー厚みが薄くなるため、加圧時に大小の粒子がうまく混合される。この違いが、加圧回数によるクラック生成量の違いに現れたものと考えられる。

5. 結言

本研究では、 μ 泥しょう鑄込み成形法を開発し、微細で複雑形状のSiC マイクロパーツの作製を試みた。今回、鑄込み条件の違いが成形体に及ぼす影響を調べた。成形体裏面に発生したクラックの数の低減には、低気孔率基板の使用及び加圧回数の増加が有効であることを示した。

参考文献

- 1) 保坂寛, Power Microelectromechanical Systems, pp. 255-271.
- 2) Y. Hasegawa and K. Okamura, J. Mater. Sci., 18, pp. 3633-3648, 1993.
- 3) Y. Hasegawa, M. Iimura, and S. Yajima, ibid, 15, p. 720, 1980.
- 4) S. Yajima, Y. Hasegawa, Mater. Sci., 13, p. 2569, 1978.