

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560119
 研究課題名（和文） 高性能超微細放熱フィンの精密加工技術の開発とフィンの応用展開
 研究課題名（英文） Development of precision processing technology for ultra-fine heat radiation fin with high performance, and its application
 研究代表者
 峠 睦（TOUGE MUTSUMI）
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：00107731

研究成果の概要：パソコンの CPU などをより効果的に冷却できる新型熱拡散デバイスの開発を目的とし、そのデバイス内部に構築するマイクロ溝から成る毛細管構造体のための精密加工技術の開発を行った。その結果、マイクロ溝の形状は溝幅 330 μm 、溝深さ 700 μm とした格子状の流量がきわめて高いこと、加工時に発生するバリをメタルソーを特殊形状とすることで解消できることを明らかにした。最終的に薄型熱拡散デバイスに組み込み、性能評価を行って所期の性能を有することを確認した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：超精密加工

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：マイクロ溝，放熱板，薄型ヒートシンク，精密加工，反り，メタルソー，毛細管
力，親水性，ダイサー

1. 研究開始当初の背景

近年、ノートパソコンなど電子機器の高性能化は著しく、消費電力の増大による CPU など内部部品の発熱量の上昇が問題となっている。これらの発熱はシリコンチップの正常な動作を阻害し、周辺電子部品の寿命を縮めることになる。そのため、パソコンの CPU などをより効果的に冷却できる新型熱拡散デバイスの開発が求められている。外部寸法はノートパソコンに組み込むことを想定す

ると、厚さ 20mm 以内と薄型にする必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、その薄型デバイス内部に構築するマイクロ溝から成る毛細管構造体のための精密加工技術の開発を目的とした。マイクロ溝の形状はミクロンオーダーであり、通常のフライス盤などでは加工精度を満たすことができないため、ダイサーを使用す

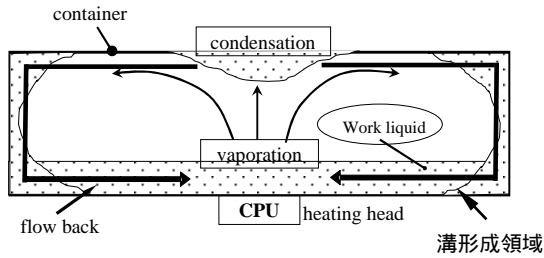


図1 新型熱拡散デバイス内部の模式図

る．精密な形状を有するマイクロ溝を加工するためには，

- (1) 加工時の切削抵抗
- (2) 加工中の被削材の発熱
- (3) 加工後のブレード磨耗状況
- (4) 加工により得られた溝形状の形状評価
- (5) マイクロ溝加工に用いるブレードの加工特性

を明確にする必要がある．その後，薄型デバイス内部の作動液をもっとも多く駆動（循環）させるために最適なマイクロ溝の形状を明らかにする．図1に新型熱拡散デバイス内部の模式図を示す．

新型熱拡散デバイスは小さな温度差で大きな熱量を輸送できる高性能な伝熱素子である．デバイスの一部を加熱すると，熱はコンテナから作動流体に伝えられ，作動流体の蒸発の際に蒸発潜熱として蒸気に蓄えられる．冷却部では蒸気が凝縮する際に凝縮潜熱を作動流体からコンテナに伝える．このように，熱は加熱部から冷却部へと運ばれる．デバイスが安定して作動するためには，コンテナ内を無動力でスムーズに作動する作動流体の還流が必要であり，その性能は熱拡散性能に大きな影響を及ぼす．ここではデバイス筐体内に微細なマイクロ溝を加工し，その溝の中に発生する毛細管力を動力として作動流体を駆動させる．マイクロ溝の断面形状の一例を図2に示す．

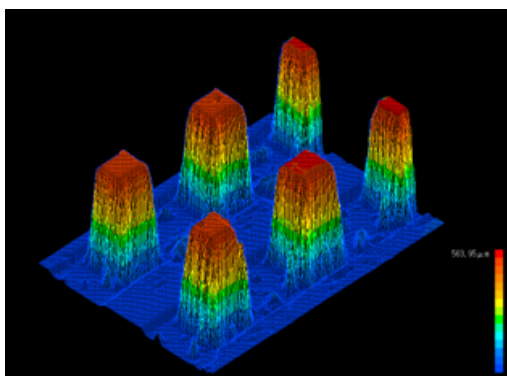


図2 格子状マイクロ溝のレーザー顕微鏡写真

表1 マイクロ溝加工条件

被削材	Cu (厚さ 1.0mm ~ 1.5mm)
加工装置	Dicing machine (東京精密 AWG-1000A)
ブレード回転数	$N = 40,000\text{rpm}$
加工速度	$v = 2\text{ mm/s}$
溝加工深さ	$t = 100\sim 1,000\text{rpm}$
ブレード	Metal Saw
	ブレード厚 $= 150\mu\text{m}$
	ブレード直径 $= 56\text{mm}$
	ブレード刃数 $= 80$
	その他：バックテーパ，刃数 40

3. 研究の方法

(1) 加工方法

マイクロ溝に求められる形状パラメータには，溝幅，深さおよびピッチがあり，これらをマイクロメートル単位で精密に加工する必要がある．そのため，本研究では加工機械としてシリコンウェハなどのダイシングに使用するダイサーを使用した．加工条件は加工精度，バリの発生，切削抵抗値，加工効率について検討した結果，送り速度 2mm/s ，回転数 $40,000\text{rpm}$ ，ブレード切削方式はダウンカットを選定した．また，加工ブレードには刃数 80 枚の超硬 K10 製の三菱マテリアル(株)製メタルソーを選定した．実験により得た最適な加工条件を表1に示す．

(2) マイクロ溝の性能評価方法

毛細管構造体の持つ流体駆動能力を評価する方法として CCD カメラ (HAS-220) を使用した．CCD カメラを用いて毛細管構造体上の $2\text{mm}\times 2\text{mm}$ の領域を撮影し，毎回同じ位置からポンプによって蒸留水を 0.001mL/s で滴下する．それによって蒸留水の速度を計測し，毛細管構造体が駆動可能な流量を評価した．

4. 研究成果

(1) 流量比較実験結果

流量比較実験を溝幅・溝深さに着目し行った．それぞれの単位断面積あたりに駆動可能な流量を定量化した．その結果，溝深さを $400\mu\text{m}$ に一定とし，溝幅のみを変化させた場合，溝幅 $210\mu\text{m} \sim 240\mu\text{m}$ 付近に流量 Q の極大値が観察された．また，溝幅を $150\mu\text{m}$ と一定にし，溝深さのみを変化させた場合， $400\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ 付近に流量 Q の極大値が確認できた．溝幅，溝深さが小さい状態ではマイクロ溝の持つ毛細管力は非常に強いが，それと同時に流体駆動に対する流路抵抗が大きくなる．しかし，溝幅，溝深さを増加させていくと流路

抵抗は小さくなるが、毛細管力によって駆動可能な流量も小さくなる。これによって溝幅、溝深さともに毛細管力と流路抵抗が良好な相互関係になる条件のとき、極大値が確認されることが出来る。

(2) 溝切削パターンと流体の駆動

マイクロ溝の切削パターンを検討した。従来、1方向にのみマイクロ溝を形成していたが、これでは1次元の熱伝導のみ可能となる。そこで、図2に示した格子状にマイクロ溝を形成することによって2次元の流体駆動を可能にした。これらの格子状マイクロ溝は2次元の流体駆動を可能にするが、延性の高い銅(Cu)に上記のような加工を施すと図3に示すような縦30 μm 、横20 μm 、高さ250 μm の大きなバリがマイクロ溝の周囲に確認された。そのため、バリ抑制法を選定する実験を行った。その結果、メタルソーの両側面に5°傾斜をつけることで、側面に切りくずの高い排出性と高い切削性を有するバックテーパブレードが優れた結果を示すことがわかった。これにより、図4に示すように大幅にバリの発生を抑制することに成功し、流動性能の向上に大きく寄与できると期待された。

(3) エッチング法による仕上げ

機械加工によるバリ発生の抑制はこれ以

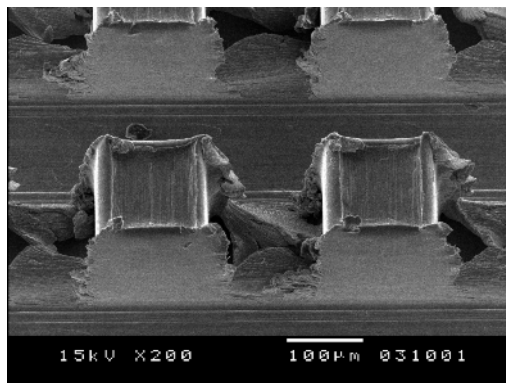


図3 バリの発生状況 (SEM 写真)

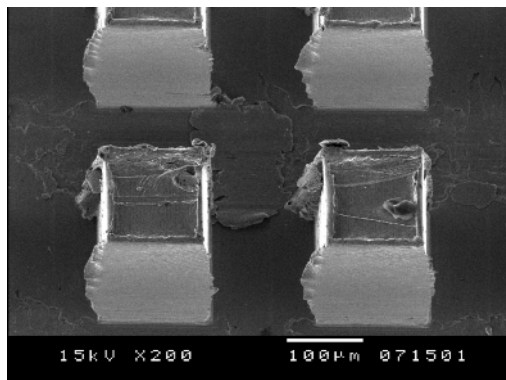


図4 バックテーパブレードによるマイクロ溝周辺のバリ発生状況 (SEM 写真)

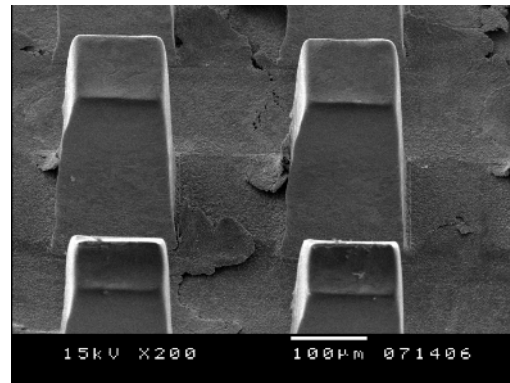


図5 エッチングを行ったマイクロ溝 (SEM 写真, 倍率は図4および5と同じ)

上は困難と考え、化学的加工法のエッチングにより発生したバリを除去できないかと考え、ダイシングマシンで可能な限りバ리를抑制した後エッチングを行い、検討を行った。

エッチングによって得られたマイクロ溝は、図5に示すようにバ리를ほぼ除去することができた。これは作動流体の駆動を大きく助長する働きを考えると考えられる。

(4) 格子状マイクロ溝の流体駆動

エッチングによってバリのない良好な表面を有する格子状マイクロ溝により流体駆動実験を行った結果、2次元のスムーズな流体駆動を確認した。

(5) 格子状マイクロ溝の性能評価実験

有効性が確認できた格子状マイクロ溝の性能を評価した。格子状マイクロ溝は平行マイクロ溝と異なり、作動液が2次元の挙動を示したことから、5°の傾斜を持たせ斜め方向から作動液の流入を行った。以上のような性能評価実験を溝幅・溝深さに着目して行った。その結果の一例を図6および図7に示す。溝深さを400 μm に一定とし、溝幅のみを変化させた場合、溝幅330 μm に流量Qの極大値が観察された。また、溝幅を330 μm と一定にし、溝深さのみを変化させた場合、700 μm に流量Qの極大値が確認できた。このように極

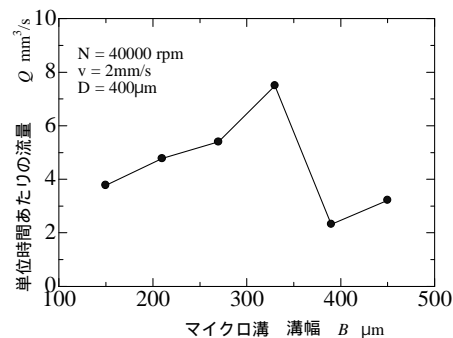


図6 単位断面あたりの流量と溝幅の関係 (溝深さは400 μm と一定)

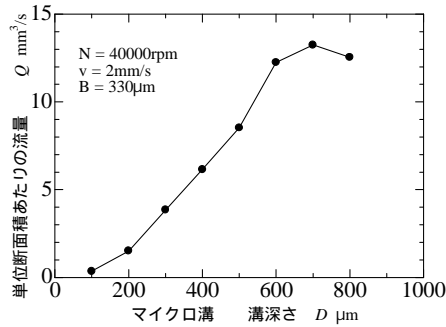


図7 単位断面面積あたりの流量と溝深さの関係 (溝幅は330μmと一定)

大値を示す値が平行マイクロ溝の結果と異なるのは溝が交差している部分の溝断面形状が異なっているため、毛細管力と流路抵抗の値が変動し、流量の極大値を示す溝深さ、溝幅が変化したと考えられる。また、ここで溝平行時よりも流量が減少しているのは5°の傾斜をもたせていることが原因であると考えられる。

(6) まとめ

マイクロ溝作成に使用する加工工具の加工特性について検証し、最適な加工法を確立し、マイクロ溝の持つ流体駆動の特性を明らかにすることができた。以下に得られた結果の要約を示す。

毛細管構造体に対する格子状マイクロ溝の有効性を確認することができた
格子状を形成する上でもっとも問題とされていたバリの除去法を開発することに成功した。
溝幅、溝深さが毛細管構造体の持つ毛細管力に与える影響を明らかにした。
最適なパラメータを持つ毛細管構造体を製作し、熱拡散デバイスに組み込む模擬実験を行い、性能評価を行うことができた。

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 1件)

小系康志,財前智章,井村英昭,峠睦, Fluid Flow Visualization in a Vapor Chamber, Proceedings of the 9th International Heat Pipe Symposium, Malaysia, pp.90-95, 2009.

[学会発表](計 2件)

古賀昭信,峠睦,小系康志,豊福陽樹,毛細管構造体の精密加工技術の開発と応用,2008年度精密工学会秋季大会学

術講演会,2008年9月10日,東北大学川内北キャンパス

古賀昭信,峠睦,渡邊純二,小系康志,久保田豊,新型熱輸送デバイス用マイクロ溝の精密加工技術の開発,日本機械学会九州支部沖縄講演会,2007年10月20日,琉球大学工学部

[その他]

ホームページ:

<http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/Info/ab/prec/kenkyuu.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

峠睦 (TOUGE MUTSUMI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号:00107731

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

坂本英俊 (SAKAMOTO HIDETOSHI) (平成19年度は研究分担者)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号:10153917

渡邊純二 (WATANABE JUNJI) (平成19年度は研究分担者)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号:40281076