



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 93 588 T5 2006.02.23

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/042305**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **103 93 588.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2003/034755**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.10.2003**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **21.05.2004**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **23.02.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F28D 21/00 (2006.01)**
B81B 1/00 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
H05K 7/20 (2006.01)
H01L 23/473 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
60/423,009 01.11.2002 US
60/442,383 24.01.2003 US
60/455,729 17.03.2003 US

(71) Anmelder:
Cooligy, Inc., Mountain View, Calif., US

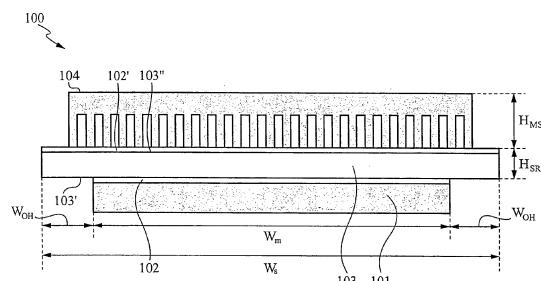
(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

(72) Erfinder:
Upadhyा, Girish, San Jose, Calif., US; Herms, Richard, Cupertino, Calif., US; Zhou, Peng, Albany, Calif., US; Goodson, Kenneth, Belmont, Calif., US; Hom, James, Redwood, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Optimales Ausbreitungssystem, Vorrichtung und Verfahren für flüssigkeitsgekühlten, mikroskalierten Wärmetausch**

(57) Hauptanspruch: Eine Vorrichtung zum fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch von einer Wärmequelle, umfassend:

a. einen mikroskalierten Bereich, der konfiguriert ist, um eine Fluidströmung durch diesen hindurch zuzulassen, und
b. einen Ausbreitungsbereich, wobei der Ausbreitungsbereich eine erste Seite und eine zweite Seite aufweist, wobei die erste Seite auf der Wärmequelle positioniert ist und mit dieser gekoppelt ist, und wobei die zweite Seite mit dem mikroskalierten Bereich gekoppelt ist.



Beschreibung**Zugehörige Anmeldung**

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht die Priorität unter 35 U.S.C. 119 (e) der gleichzeitig anhängigen provisorischen U.S.-Patentanmeldung mit der Seriennummer 60/423,009, die am 1. November 2002 eingereicht wurde, mit dem Titel "Methods for flexible fluid delivery and hotspot cooling by microchannel heat sinks" ("Verfahren zur flexiblen Fluidabgabe und Kühlung von heißen Punkten durch Mikrokanal-Wärmesenken"), die hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen wird. Die vorliegende Patentanmeldung beansprucht ebenfalls die Priorität unter 35 U.S.C. 119 (e) der gleichzeitig anhängigen provisorischen U.S.-Patentanmeldung mit der Seriennummer 60/442,383, eingereicht am 24. Januar 2003, mit dem Titel "Optimized plate fin heat exchanger for CPU cooling" ("Optimierter Platten-Rippen-Wärmetauscher für CPU-Kühlung"), die ebenfalls hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen wird. Weiterhin beansprucht die vorliegende Patentanmeldung die Priorität unter 35 U.S.C. 119 (e) der gleichzeitig anhängigen provisorischen U.S.-Patentanmeldung mit der Seriennummer 60/455,729, die am 17. März 2003 eingereicht worden ist, mit dem Titel "Microchannel heat exchanger apparatus with porous configuration and method of manufacturing thereof" ("Mikrokanal-Wärmetauschervorrichtung mit poröser Konfiguration und Verfahren zu deren Herstellung"), die hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen wird.

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Wärmetauscher. Mehr im einzelnen bezieht sich die vorliegende Erfindung auf Systeme und Vorrichtungen sowie auf Verfahren zum Verwenden von Ausbreiteinrichtungen für einen fluidgekühlten, mikroskalierten Wärmetausch auf eine optimale Weise.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Aufgrund der zunehmenden Leistungsfähigkeit von elektronischen Komponenten besteht eine Notwendigkeit nach höheren Raten der Wärmeabfuhr. Derartige Komponenten weisen eine größere Wärmeerzeugung und kleinere Einheitsgrößen auf. Beispielsweise besteht eine Notwendigkeit, Wärme von Zentralprozessoren in einem Bereich von 50 bis 200 W abzuführen.

Stand der Technik

[0004] Verfahren zur Kühlung mit Luft mittels erzwungener und freier Konvektion in Verbindung mit Wärmesenken dienen gegenwärtig als vorherrschendes Verfahren zum Kühlen von Elektronikkomponenten. Die gegenwärtig eingesetzten, herkömmlichen Lüftungssysteme, bei denen aus Aluminium extrudierte oder formgegossene Rippenwärmesenken verwendet werden, sind nicht ausreichend zum Kühlen des großen Wärmefluxes von Chipoberflächen oder für eine große Wärmeableitung bei niedrigem thermischen Widerstand und kompakter Größe.

[0005] Derartige luftgekühlte Wärmesenken erfordern allerdings eine größere Oberfläche, um effektiv zu arbeiten. Um in der Lage zu sein, die vergrößerte Wärmelast zu übertragen, müssen die Wärmesenken größer werden. Um an größere Wärmesenken angepaßt zu sein, wird bei Prozessoren eine thermisch leitende Wärmeausbreiteinrichtung verwendet. Allerdings ist von Nachteil, daß die Wärmeausbreiteinrichtung die Gesamtgröße des Oberflächenbereichs auf einer gedruckten Schaltungsplatte, die von einer solchen elektronischen Komponente benötigt wird, vergrößert. Dies hat die Verwendung von größeren Lüftern notwendig gemacht, um den vergrößerten Druckabfall zu überwinden. Daher benötigen gegenwärtig eingesetzte Kühlverfahren einen erheblichen Platz auf der einen Seite, während sie auf der anderen Seite den Eintritt des Luftstroms und die Austrittswege blockieren.

[0006] Weiterhin werden Rippen mit einem hohen Schlankheitsgrad verwendet, um Wärme mit geringem thermischen Widerstand an die Umgebung abzuführen. Allerdings besteht eine Notwendigkeit danach, die Temperatur in der X-Y-Richtung gleichmäßig zu halten, worin ein Nachteil von gegenwärtig eingesetzten, herkömmlichen Verfahren zur Wärmeableitung liegt, bei denen lediglich eine Wärmeübertragung in einer Richtung erfolgt.

Aufgabenstellung

[0007] Es besteht daher ein Bedarf nach einem effizienteren und effektiveren Kühlsystem. Dieses Ziel kann

durch die Verwendung von Verfahren und Vorrichtungen zur Flüssigkeitskühlung erreicht werden. Ein Kühlsystem mit gepumpter Flüssigkeit kann mehr Wärme mit einem erheblich geringeren Strömungsvolumen abführen und eine bessere Gleichmäßigkeit der Temperatur aufrechterhalten. Diese Ergebnisse werden mit einem wesentlich geringeren akustischen Geräusch erreicht.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die Miniaturisierung von elektronischen Komponenten oder Bauteilen hat zu erheblichen Problemen geführt, die mit der Überhitzung von integrierten Schaltungen zusammenhängen. Eine effektive Kühlung von Wärmeströmen, die 100 W/cm^2 überschreiten, von einer relativ kleinen Oberfläche, ist erforderlich. Fluidgekühlte, mikroskalierte Wärmetauscher bieten erhebliche Vorteile im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit zur Abführung eines Wärmestroms, im Vergleich mit herkömmlichen Kühlvorrichtungen. Es sei darauf verwiesen, daß der mikroskalierte Wärmetauscher je nach der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung aus Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur oder aus Mikrosäulen bestehen kann, oder aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen bestehen oder daraus ausgewählt sein kann.

[0009] Wärmeströme von mehr als 100 W/cm^2 können unter Verwendung der vorliegend offenbarten mikroskalierten Wärmetauscher abgeführt werden, die aus Mikrokanälen aus Silizium oder aus anderen Materialien bestehen, von Wärmequellen wie bspw. einem Mikroprozessor. Anders als beim Stand der Technik stellen fluidgekühlte mikroskalierte Wärmetauscher, wie sie in der vorliegenden Erfindung offenbart sind, eine extrem große Wärmeübertragungsfläche pro Einheitsvolumen auf eine optimale Weise zur Verfügung. Die mikroskalierten Wärmetauscher der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bestehen aus Mikrokanälen mit Mikrokanalwänden mit Breitenabmessungen im Bereich von und einschließlich 10 Mikrometer bis 100 Mikrometer. Alternative Ausführungsformen des mikroskalierten Wärmetauschers beinhalten Mikrokanäle, eine mikroporöse Struktur oder Mikrosäulen, oder bestehen aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen oder sind daraus ausgewählt. Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hält im wesentlichen eine gleichmäßige Temperatur in der X-Y-Richtung aufrecht, zusätzlich dazu, daß Wärme an die Umgebung mit niedrigem thermischen Widerstand abgegeben wird. Dies wird dadurch erreicht, daß Rippen mit einem großen Schlankheitsgrad verwendet werden, die Wärme an die Umgebung mit niedrigem thermischen Widerstand übertragen, während gleichzeitig eine Gleichmäßigkeit der Temperatur in der X-Y-Richtung aufrechterhalten wird, was bei gegenwärtig verwendeten, herkömmlichen Verfahren zur Wärmeableitung ein Problem bzw. einen Nachteil darstellt, bei denen Wärme lediglich in einer Richtung übertragen wird.

[0010] Damit fluidgekühlte mikroskalierte Wärmetauscher eine extrem große Wärmeübertragungsfläche je Einheitsvolumen bereitstellen können, müssen die geometrischen Parameter der Wärmetauscher sorgfältig betrachtet werden, da diese Parameter einen Einfluß auf die Eigenschaften der konvektiven Wärmeübertragung haben. Aus diesem Grunde werden bei der Auslegung von Systemen, bei denen die vorliegende Erfindung eingesetzt wird, vorzugsweise Schlüsselparameter wie etwa der Druck, der benötigt wird, um das Kühlfluid zu pumpen, die Durchflußrate, der hydraulische Durchmesser des Kanals, die Temperatur des Fluids und der Kanalwand sowie die Anzahl der Kanäle optimiert. Die vorliegende Erfindung stellt optimierte Parameter bereit, so daß die fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauscher in der Lage sind, als effizientes und ökonomisches Mittel zum Abführen einer großen Wärmelast je Einheitsvolumen zu dienen.

[0011] Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen spezielle Bauarten von Ausbreiteinrichtungen bereit, die für einen fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch verwendet werden. Spezielle Materialien und Abmessungsbereiche, bei denen sich im Wege von Simulationen gezeigt hat, daß sie erhebliche Vorteile in der Leistungscharakteristik mit sich bringen, sind ebenfalls durch die vorliegende Erfindung offenbart. Mikrokanäle mit großen Schlankheitsgraden mit Verhältnissen von Tiefe zu Breite im Verhältnis von 10 bis 50 werden für den mikroskalierten Wärmetauscher bevorzugt, insbesondere für eine einphasige Flüssigkeitsströmung. Diese Schlankheitsgrade ermöglichen, daß große Mengen an Fluid durch den fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauscher bei einem optimierten Druckabfall gepumpt werden, während das Fluid gleichzeitig die Möglichkeit hat, einen hohen thermischen Konvektionskoeffizienten an die Seitenwände der Mikrokanäle aufrechtzuerhalten, bei der mit Mikrokanälen versehenen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0012] In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beinhalten ein Ausbreitungsbereich und ein mikroskaliertes Bereich die getrennten Komponenten der mikroskalierten fluidgekühlten Wärmetauschervorrichtung. Der Ausbreitungsbereich, der vorzugsweise aus Kupfer besteht, ist bevorzugt zwischen dem mikroskalierten Bereich, der vorzugsweise aus Silizium besteht, und der Wärmequelle, bei der es sich vorzugsweise um einen Mikroprozessor handelt, angeordnet. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Er-

findung liegen der Ausbreitungsbereich, der mikroskalierte Bereich und die Wärmequelle in einer monolithischen Konfiguration vor und bilden eine monolithische Struktur, d. h. die Komponenten der Vorrichtung bestehen aus, bilden oder sind gebildet aus einer einzigen Einheit. Unabhängig von der Ausführungsform ist der eine größere thermische Leitfähigkeit aufweisende Ausbreitungsbereich in seitlicher oder Querrichtung breiter als die Wärmequelle und liegt zwischen dem mikroskalierten Bereich und der Wärmequelle, und daß der mikroskalierte in bezug auf die Wärmequelle (auf beiden Seiten der Wärmequelle) übersteht, wie nachfolgend noch mehr im einzelnen beschrieben wird.

[0013] Die genaue Breite für die mikroskalierten und Ausbreitungsbereiche werden offenbart. Zusätzlich offenbart die vorliegende Erfindung spezielle Bereiche für optimale Abmessungen der mikroskalierten und Ausbreitungsbereiche, die die thermische Leistungsfähigkeit maximieren.

Ausführungsbeispiel

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] [Fig. 1A](#) erläutert eine Querschnittsansicht eines fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers, bei dem das Fluid unmittelbar mit dem Ausbreitungsbereich in Kontakt steht, gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0015] [Fig. 1B](#) zeigt eine perspektivische Ansicht des eines mikroskalierten Bereichs, der mehrere unterschiedliche Wärmeübertragungsmerkmale gemäß der vorliegenden Erfindung aufweist.

[0016] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines zusammengesetzten fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers mit einer Sammelleitungs-Lage gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0017] [Fig. 3A](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines zusammengesetzten fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers, der verflochtene Sammelleitungen auf der oberen Lage beinhaltet, gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0018] [Fig. 3B](#) zeigt eine Querschnittsansicht des zusammengesetzten fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers, der in [Fig. 3A](#) dargestellt ist, gemäß der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0019] Die geometrischen Parameter von Wärmetauschern haben einen erheblichen Einfluß auf deren konvektive Wärmeübertragungseigenschaften. Aus diesem Grunde werden bei Auslegungen oder Konstruktionen gemäß der vorliegenden Erfindung vorzugsweise Schlüsselparameter des Wärmetauschers optimiert, wie etwa: der Druck, der benötigt wird, um das Kühlfluid zu pumpen; der Strömungsdurchsatz; der hydraulische Durchmesser des Kanals; die Temperatur des Fluids und der Kanalwand; und die Anzahl der benötigten Kanäle. Die vorliegende Erfindung stellt optimierte Parameter bereit, so daß die fluidgekühlte mikroskalierte optimierte Ausbreitungseinrichtung die Möglichkeit erhält, als ein effizientes und ökonomisches Mittel zum Abführen einer großen Wärmelast je Einheitsvolumen zu dienen.

[0020] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen effektive und effiziente Lösungen bereit, um die absoluten und relativen Abmessungen des fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers, seiner Ausbreitungs- und mikroskalierten Bereiche und auch des Überstands des Mikrostrukturbereichs in bezug auf eine Wärmequelle wie etwa einen Mikroprozessor zu optimieren. Die Dicke und Breite des mikroskalierten Bereichs und des Ausbreitungsbereichs nach der vorliegenden Erfindung gleichen den vertikalen thermischen Widerstand des mikroskalierten Bereichs und des Ausbreitungsbereichs gegenüber der Vergrößerung der Fläche für einen optimierten Wärmeübergang in ein Fluid aus.

[0021] [Fig. 1A](#) zeigt eine Vorrichtung **100** für einen fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch von einer Wärmequelle **101**. In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Wärmequelle **101** ein Mikroprozessor. Das Fluid besteht in bevorzugter Weise aus Wasser, wobei aber in alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung das Fluid die Gruppe von Wasser, Ethylenglykol, Isopropylalkohol, Ethanol, Methanol und Wasserstoffperoxid umfaßt bzw. daraus ausgewählt ist. Vorzugsweise beinhaltet die Vorrichtung **100** einen zusammengesetzten fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschbereich **104** und einen Ausbreitungsbereich **103**, wobei das Fluid in bevorzugter Weise unmittelbar mit dem Ausbreitungsbereich **103** in Kontakt steht, wie nachfolgend noch mehr im einzelnen beschrieben wird.

[0022] Insbesondere weist die Vorrichtung **100** einen Ausbreitungsbereich **103** und einen mikroskalierten Bereich **104** auf. Die Wärmequelle **101** hat bevorzugt eine Breite. Der mikroskalierte Bereich **104** ist so konfiguriert, daß er eine Strömung von Fluid durch diesen hindurch zuläßt, und weist eine Breite und eine Dicke auf. Weiterhin weist der Ausbreitungsbereich **103** eine Breite und eine Dicke auf. In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Breite des Ausbreitungsbereichs **103** und des mikroskalierten Bereichs **104** größer als die Breite der Wärmequelle **101**.

[0023] Wie in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung offenbart ist, liegt die optimale Dicke des Ausbreitungsbereichs, die Abmessung H_{SR} , in dem Bereich von 0,3 bis 2,0 mm. Weiterhin beträgt die Überhang- oder Überstandsabmessung W_{OH} , die auch als der Unterschied zwischen den Breiten des mikroskalierten Bereichs und der entsprechenden Wärmequelle, $W_s - W_m$, bezeichnet ist, in dem Bereich von 0 bis 15 mm auf jeder Seite der Wärmequelle. Die Höhe des mikroskalierten Bereichs **104**, H_{MS} , ist im Detail weiter unten erläutert. Der tatsächlich gewählte Wert hängt von zahlreichen Überlegungen ab, wie bspw. von den Herstellkosten.

[0024] Der mikroskalierte Bereich **104** ist so konfiguriert, daß er eine Strömung von Fluid durch diesen hindurch zuläßt. Der mikroskalierte Bereich **104** weist in bevorzugter Weise Mikrokanäle auf, wobei die Mikrokanäle Wände haben, weist allerdings in alternativen Ausführungsformen eine mikroporöse Struktur oder Mikrosäulen auf, oder besteht aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen. Der Ausbreitungsbereich **103** nach der vorliegenden Erfindung wird alternativ in Verbindung mit einem Wärmetauscher verwendet, der in der gleichzeitig anhängigen Patentanmeldung mit der Seriennummer 10/680,584, die am 6. Oktober 2003 eingereicht worden ist und den Titel "Method and apparatus for efficient vertical fluid delivery for cooling a heat producing device" ("Verfahren und Vorrichtung zur effizienten vertikalen Fluidabgabe zur Kühlung eines wärmeerzeugenden Geräts") trägt, beschrieben ist, die hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen ist. Zusätzlich können weitere Einzelheiten der Mikrokanäle, der Mikrosäulen und der mikroporösen Strukturen in der gleichzeitig anhängigen Patentanmeldung mit der Seriennummer Cool-01800, eingereicht am ..., mit dem Titel "Method and apparatus for achieving temperature uniformity and hot spot cooling in a heat producing device" ("Verfahren und Vorrichtung zum Erzielen einer gleichförmigen Temperatur und Kühlung von heißen Punkten in einem wärmeerzeugenden Gerät") entnommen werden, die hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen wird.

[0025] [Fig. 1B](#) zeigt eine perspektivische Ansicht des mikroskalierten Bereichs **104**, der mit dem Ausbreitungsbereich **103** gekoppelt ist. Der mikroskalierte Bereich **104**, der in [Fig. 1B](#) dargestellt ist, weist mehrere unterschiedliche Merkmale zur Wärmeübertragung gemäß der vorliegenden Erfindung auf. Der mikroskalierte Bereich **104'** umfaßt mehrere Mikrokanäle **10**, wobei zwei der Mikrokanäle die gleiche Form aufweisen und ein Mikrokanal **12** einen Abschnitt aufweist, der sich höher als der andere Abschnitt erstreckt. Weiterhin sind die Mikrokanäle **14** um einen größeren Abstand voneinander angeordnet, im Vergleich zu dem Abstand zwischen den Mikrokanälen **10** und **12**. Zusätzlich weist der mikroskalierte Bereich **104'** mehrere Mikrosäulen **20** und **22** von unterschiedlichen Höhenabmessungen auf, die auf diesem gemäß der vorliegenden Erfindung angeordnet sind. Wie in [Fig. 1B](#) dargestellt ist, erstrecken sich die Mikrosäulen **22** in vertikaler Richtung von der unteren Oberfläche des mikroskalierten Bereichs **104'** bis zu einer vorbestimmten Höhe, möglicherweise bis zu der gesamten Höhe des mikroskalierten Bereichs **104'**. Die Mikrosäulen **20** erstrecken sich in vertikaler Richtung in einem geringeren Maß als die Mikrosäulen **22**. Die Mikrosäulen **22** können jegliche Form haben, einschließlich, aber nicht begrenzt auf, Zapfen oder Stifte ([Fig. 1B](#)), quadratisch (nicht dargestellt), rautenförmig (nicht dargestellt), elliptisch (nicht dargestellt), hexagonal (nicht dargestellt), kreisförmig oder irgendeine andere Form. Der mikroskalierte Bereich **104'** weist alternativ eine Kombination aus unterschiedlich geformten Mikrosäulen auf, die auf diesem angeordnet sind. Zusätzlich zeigt [Fig. 1B](#) eine mikroporöse Struktur **30**, die auf dem mikroskalierten Bereich **104'** angeordnet ist.

[0026] Es wird deutlich, daß der mikroskalierte Bereich **104'** einen Typ eines wärmeübertragenden Merkmals oder alternativ jegliche Kombination von unterschiedlichen wärmeübertragenden Merkmalen aufweisen kann, wie bspw. Mikrokanäle, Mikrosäulen oder mikroporöse Strukturen.

[0027] Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist Mikrokanäle auf, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen, mit Höhen (d. h. in Richtung senkrecht zu der Wärmequelle) H_{MS} in dem Bereich von 50 Mikrometer bis 2 Millimeter und Breiten der Wände der Mikrokanäle in dem Bereich von 10 bis 150 Mikrometer. Die aktuellen Herstellungstechniken, die diese Seitenverhältnisse oder Schlankheitsgrade erzielen können, sind bspw. Plasmaätzen und LIGA-Herstellung. Die meisten dieser Techniken werden gegenwärtig bei der Halbleiterherstellung (hauptsächlich Silizium) eingesetzt. In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht der mikroskalierte Bereich **104** aus Silizium. Silizium bietet eine angemessen große Leit-

fähigkeit von etwa 120 W/m-K, die es ermöglicht, daß die Wärme effektiv entlang den Seitenwänden der Kanäle nach oben geleitet wird. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung besteht der mikroskalierte Bereich **104** aus einem Material mit einer thermischen Leitfähigkeit von mehr als 25 W/m-K. In noch weiteren Ausführungsformen besteht der mikroskalierte Bereich **104** aus einem Halbleitermaterial. Alternative Materialien für den mikroskalierten Bereich **104**, die angemessene Seitenverhältnisse bereitstellen, umfassen, sind allerdings nicht beschränkt auf, Silizium, Germanium, Siliziumkarbid, präzisionsbearbeitete Metalle und Metallelegierungen oder Verbundwerkstoffe oder Kombinationen. Weiterhin besteht der Ausbreitungsbereich **103** in bevorzugter Weise aus Kupfer. Kupfer mit etwa 400 W/m-K ist das bevorzugte Material für den Ausbreitungsbereich **103** aufgrund von Überlegungen betreffend Kosten und thermische Leitfähigkeit, obwohl Diamant mit etwa 2000 W/m-K, Silber mit etwa 430 W/m-K, Aluminium mit etwa 395 W/m-K, Siliziumkarbid mit etwa 400 W/m-K oder eine Kombination oder ein Verbundmaterial ebenfalls verwendet werden können. Es ist von Bedeutung darauf hinzuweisen, daß jegliches Material mit einer thermischen Leitfähigkeit, die gleich wie oder größer als die von Silizium ist, und das eine Wärmeausbreitung oder -verteilung durch den Ausbreitungsbereich **103** ermöglicht, für den Ausbreitungsbereich **103** verwendet werden kann. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung besteht der Ausbreitungsbereich **103** aus einem Material mit einem Wärmeleitfähigkeitswert, der größer als 200 W/m-K ist.

[0028] Der Ausbreitungsbereich **103** weist eine erste Seite **103'** und eine zweite Seite **103''** auf. Die erste Seite **103'** ist auf der Wärmequelle **101** angeordnet und mit dieser gekoppelt, und die zweite Seite **103''** ist mit dem mikroskalierten Bereich **104** gekoppelt. Vorzugsweise ist die erste Seite **103'** mit der Wärmequelle **101** über ein thermisches Befestigungsmittel **102** gekoppelt, und die zweite Seite **103''** ist mit dem mikroskalierten Bereich **104** über ein zweites thermisches Befestigungsmittel **102'** gekoppelt.

[0029] In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung liegen der Ausbreitungsbereich **103**, der mikroskalierte Bereich **104** und die Wärmequelle **101** in einer monolithischen Konfiguration vor und bilden eine monolithische Struktur.

[0030] Um einen minimalen thermischen Widerstand zwischen dem Fluid in dem mikroskalierten Bereich **104** und der Wärme, die durch die Wärmequelle **101**, bspw. einen Mikroprozessor, freigesetzt wird, zu erzielen, wird bevorzugt, daß sich die Wärme leicht in seitlicher Richtung oder in Querrichtung ausbreitet, während sie sich von der Wärmequelle **101** in Richtung auf den mikroskalierten Bereich **104** bewegt. Daher bestehen sowohl der Ausbreitungsbereich **103** als auch das erste und das zweite thermische Befestigungsmittel **102** und **102'** in bevorzugter Weise aus einem Material von hoher thermischer Leitfähigkeit. Zusätzlich wird die Verwendung von geringfügig größeren seitlichen oder Querabmessungen für den Ausbreitungsbereich **103** bevorzugt, so daß die gesamte Fläche für die Wärmeaufnahme durch das Fluid vergrößert wird. Auf diese Weise gleichen die optimale Dicke und Breite des Ausbreitungsbereichs **103** und des mikroskalierten Bereichs **104** den vertikalen thermischen Widerstand des Ausbreitungsbereichs **103** gegenüber der Zunahme in der Fläche für eine Wärmeübertragung in das Fluid aus, wie weiter unten noch beschrieben wird. Die Abmessungen werden auch dadurch bestimmt, ob eine Kühlung durch eine einzelne Phase, bspw. nur Flüssigkeit, oder durch zwei Phasen, bspw. Flüssigkeit und siedende Flüssigkeit, auftritt, und durch die Konfiguration des mikroskalierten Bereichs **104**. Die drei nachfolgenden Tabellen geben bevorzugte Abmessungen in Abhängigkeit von der Konfiguration des mikroskalierten Bereichs **104** und auch von der Phase der auftretenden Kühlung an.

TABELLE 1

Eigenschaften des mikroskalierten Bereichs (umfassend eine mikroporöse Struktur) und des Ausbreitungsbereichs	Einphasig	Zweiphasig
Dicke des Ausbreitungsbereichs	0,3 – 0,7 mm	0,3 – 1,0 mm
Durchschnittliche Porengröße	10 – 200 Mikron	10 – 200 Mikron
Porosität der mikroporösen Struktur	50 – 80 %	50 – 80 %
Höhe des mikroskalierten Bereichs	0,25 mm – 2,0 mm	0,25 – 2,0 mm
Überstand des mikroskalierten Bereichs in bezug auf die Breite der Wärmequelle	0 – 5,0 mm	0 – 15,0 mm

TABELLE 2

Eigenschaften des mikroskalierten Bereichs (umfassend Mikrosäulen) und des Ausbreitungsbereichs	Einphasig	Zweiphasig
Dicke des Ausbreitungsbereichs	0,3 – 0,7 mm	0,3 – 1,0 mm
Querschnittsfläche der Mikrosäulen	$(10 \text{ Mikron})^2$ – $(100 \text{ Mikron})^2$	$(10 \text{ Mikron})^2$ – $(100 \text{ Mikron})^2$
Abstand zwischen Mikrosäulen	10 – 150 Mikron	10 – 150 Mikron
Höhe der Mikrosäulen	50 – 800 Mikron	50 – 2,0 mm
Überstand des mikroskalierten Bereichs in bezug auf die Breite der Wärmequelle	0 – 5,0 mm	0 – 15,0 mm

TABELLE 3

Eigenschaften des mikroskalierten Bereichs (umfassend Mikrokanäle) und des Ausbreitungsbereichs	Einphasig	Zweiphasig
Dicke des Ausbreitungsbereichs	0,3 – 0,7 mm	0,3 – 1,0 mm
Breite der Mikrokanalwand	10 – 100 Mikron	10 – 100 Mikron
Abstand zwischen Mikrokanalwänden	10 – 150 Mikron	10 – 150 Mikron
Höhe einer Mikrokanalwand	50 – 800 Mikron	50 – 2,0 mm
Überstand des mikroskalierten Bereichs in bezug auf die Breite der Wärmequelle	0 – 5,0 mm	0 – 15,0 mm

[0031] Es sei darauf verwiesen, daß die optimalen Abmessungen, die in den Tabellen 1, 2 und 3 aufgeführt sind, von den Eigenschaften des Materials und des Fluids abhängen. Allerdings sei darauf verwiesen, daß die aufgeführten optimalen Abmessungen durch einen Mann vom Fach angepaßt werden, wenn andere Materialien oder Fluide verwendet werden, als die, die in der vorliegenden Erfindung diskutiert sind.

[0032] Der Ausbreitungsbereich **103** und der mikroskalierte Bereich **104** können, wie dies durch das erste und zweite thermische Befestigungsmittel **102** und **102'** dargelegt ist, unter Verwendung eines aus einer Vielfalt von Verfahren befestigt werden, umfassend, aber nicht beschränkt auf anodisches Verbinden, Hartlöten, Weichlöten und Verbinden mittels Epoxydharz.

[0033] Wie vorstehend dargelegt, besteht der mikroskalierte Bereich vorzugsweise aus Mikrokanälen oder beinhaltet solche, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen. Zumindest einer der Mikrokanäle weist eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2 mm auf, und mindestens zwei der Mikrokanäle sind voneinander getrennt durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 – 150 Mikrometer. Die bevorzugten Mikrokanäle weisen zumindest einen Mikrokanal auf, der eine Breitenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 bis 150 Mikrometer aufweist.

[0034] In alternativen Ausführungsformen weist der mikroskalierte Bereich eine mikroporöse Struktur auf. Die mikroporöse Struktur weist ein poröses Material mit einer Porosität innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 – 80 % auf, wobei die mikroporöse Struktur eine durchschnittliche Porengröße innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 – 200 Mikrometer aufweist. Bei der alternativen Ausführungsform weist die mikroporöse Struktur eine Höhe innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,25 bis 2,0 mm auf.

[0035] In noch einer weiteren Ausführungsform weist der mikroskalierte Bereich Mikrosäulen auf. Die Mikrosäulen weisen eine Anzahl von Stiften oder Zapfen auf, wobei zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Flächenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich $(10 \text{ Mikrometer})^2$ und $(100 \text{ Mikrometer})^2$ aufweist. Zumindest einer aus der Anzahl von Stiften weist eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2 mm auf, und zumindest zwei aus der Anzahl von Stiften sind voneinander um eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 bis 150 Mikrometer getrennt. Es sei auch darauf verwiesen, daß der mikroskalierte Bereich in einer anderen Alternative aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen besteht.

[0036] [Fig. 2](#) erläutert eine schematische Querschnittsansicht eines zusammengesetzten fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschers mit einer Sammelleitungs-Lage, gemäß der vorliegenden Erfindung. Insbesondere zeigt [Fig. 2](#) eine alternative Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die Vorrichtung **200** eine Wärmequelle **201**, ein thermisches Befestigungsmittel **202**, einen Ausbreitungsbereich **203** mit einer ersten

Seite 203' und einer zweiten Seite 203'', ein zweites thermisches Befestigungsmittel 202', einen mikroskalierten Bereich 204 und eine Sammelleitungs-Lage 205 aufweist. Das Fluid tritt in die Vorrichtung 200 ein und verläßt diese über den Einlaß/Auslaß 206. Der mikroskalierte Bereich 204 ist so konfiguriert, daß er Fluid von den Einlaß/Auslaß 206 aufnimmt und einen Fluidstrom durch den mikroskalierten Bereich 204 zuläßt. Der mikroskalierte Bereich 204 besteht in bevorzugter Weise aus Mikrokanälen, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen, kann allerdings alternativ aus einer mikroporösen Struktur oder aus Mikrosäulen bestehen, oder kann aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen bestehen. Die bevorzugten Mikrokanäle des mikroskalierten Bereichs 204 weisen eine Tiefe (Richtung senkrecht zu der Wärmequelle) in dem Bereich von 50 Mikrometer bis 2 Millimeter auf und Breiten in dem Bereich von 10 bis 150 Mikrometer. Die Wände des mikroskalierten Bereichs 204 bestehen vorzugsweise aus einem Siliziummaterial. Alternative Materialien, die zur Verwendung für die Wände der Mikrokanäle zur Verfügung stehen, beinhalten Siliziumcarbid, Diamant, jegliches Material mit einer thermischen Leitfähigkeit von mehr als 25 W/m-K, ein Halbleitermaterial oder andere Materialien, die weiter oben besprochen worden sind.

[0037] Der Ausbreitungsbereich 203 weist eine erste Seite 203' und eine zweite Seite 203'' auf. Die erste Seite 203' ist auf der Wärmequelle 201 positioniert und mit dieser gekoppelt, die zweite Seite 203'' ist mit dem mikroskalierten Bereich 204 gekoppelt. Vorzugsweise ist die erste Seite 203' mit der Wärmequelle 201 über ein thermisches Befestigungsmittel 202 gekoppelt, und die zweite Seite 203'' ist mit dem mikroskalierten Bereich 204 über ein zweites thermisches Befestigungsmittel 202' gekoppelt. Das erste und zweite thermische Befestigungsmittel 202 und 202' weisen vorzugsweise ein Material mit einer großen Wärmeleitfähigkeit auf. Der Ausbreitungsbereich 203 und der mikroskalierte Bereich 204 (oder der Ausbreitungsbereich 203, der mikroskalierte Bereich 204 und die Sammelleitungs-Lage 205) können befestigt werden (wie dargestellt, bspw. mittels des ersten und zweiten thermischen Befestigungsmittels 202 und 202'), indem eines aus einer Vielzahl von Verfahren verwendet wird, einschließlich, aber nicht beschränkt auf anodisches Verbinden, Hartlöten, Weichlöten und Verbinden mittels Epoxidharz. In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung liegen der Ausbreitungsbereich 203, der mikroskalierte Bereich 204, die Sammelleitungs-Lage 205 und die Wärmequelle 201 in einer monolithischen Konfiguration vor und bilden eine monolithische Struktur.

[0038] Der Ausbreitungsbereich 203 besteht aus Kupfer, obwohl Diamant, Silber, Aluminium und Siliziumkarbid, ein Verbundmaterial oder die anderen Materialien, die weiter oben beschrieben worden sind, ebenfalls verwendet werden können. Weiterhin kann jegliches Material oder ein Verbundmaterial mit einer größeren thermischen Leitfähigkeit als Silizium, d.h. mit Wärmeleitfähigkeitswerten von mehr als 200 W/m-K, für den Ausbreitungsbereich 203 verwendet werden.

[0039] Die Sammelleitungs-Lage 205 weist verflochtene Sammelleitungen auf, die in bevorzugter Weise mit dem mikroskalierten Bereich 204 gekoppelt sind. In anderen Ausführungsformen sind diese verflochtenen Sammelleitungen mit dem Ausbreitungsbereich 203 allein gekoppelt, oder alternativ sowohl mit dem mikroskalierten Bereich 204 als auch mit dem Ausbreitungsbereich 203. Die Sammelleitungs-Lage 205 besteht in bevorzugter Weise aus Glas. Die Sammelleitungs-Lage 205, die in [Fig. 2](#) dargestellt ist, könnte auch in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden. In alternativen Ausführungsformen weist die Sammelleitungs-Lage eine Vielzahl von einzelnen Löchern auf, um Fluid in die und aus der Wärmetauschvorrichtung heraus zu kanalisiieren. Die Einzelheiten von Sammelleitungs-Lagen und unterschiedlichen Ausführungsformen der Sammelleitungs-Lagen sind in der gleichzeitig anhängigen Patentanmeldung mit der Serien-Nr. 10/680,584 beschrieben, die am 6. Oktober 2003 eingereicht worden ist und den Titel "METHOD AND APPARATUS FOR EFFICIENT VERTICAL FLUID DELIVERY FOR COOLING A HEAT PRODUCING DEVICE (Verfahren und Vorrichtung zur effizienten vertikalen Fluidabgabe zum Kühlung einer wärmeerzeugenden Vorrichtung)" trägt, die hierdurch unter Bezugnahme aufgenommen ist.

[0040] Die vorliegende Erfindung beschreibt auch ein Verfahren zum Herstellen einer fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschervorrichtung, umfassend das Herstellen eines mikroskalierten Bereichs, der Silizium umfaßt, das Herstellen eines Ausbreitungsbereichs, der Kupfer umfaßt, und das Koppeln des mikroskalierten Bereichs mit dem Ausbreitungsbereich. Bei alternativen Verfahren sind der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich monolithisch, wie vorstehend beschrieben ist. Das bevorzugte Verfahren umfaßt eine Herstellung des mikroskalierten Ausbreitungsbereichs ausgehend von präzisionsbearbeiteten Metallen. In alternativen Verfahren wird der mikroskalierte Ausbreitungsbereich ausgehend von präzisionsbearbeiteten Legierungen hergestellt.

[0041] Weiterhin ist ein System für einen fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch beschrieben. Das nicht dargestellte System weist eine Wärmequelle auf, ein Mittel zum Ausbreiten von Wärme, ein Mittel zum Zuführen von Fluiden und ein Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung. Das Mittel zum Ausbreiten von Wär-

me ist mit der Wärmequelle gekoppelt. Das Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung ist so konfiguriert, daß es ein Fluid von dem Mittel zum Zuführen von Fluid erhält. Das Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung weist in bevorzugter Weise Mikrokanäle auf, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen, weist allerdings in alternativen Ausführungsformen eine mikroporöse Struktur oder Mikrosäulen auf, oder besteht aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen. Das Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung ist mit dem Mittel zum Ausbreiten von Wärme gekoppelt.

[0042] [Fig. 3A](#) stellt eine mehr ins einzelne gehende Zeichnung für die Ausführungsform dar, die eine zusammengesetzte fluidgekühlte mikroskalierte Wärmetauschervorrichtung mit verflochtenen Sammelleitungen auf der oberen Lage aufweist, in einer Geometrie, die ähnlich ist wie in [Fig. 2](#). Insbesondere zeigt [Fig. 3A](#) eine Vorrichtung **300**. Die Vorrichtung **300** weist einen Ausbreitungsbereich **301** auf, eine erste Sammelleitungs-Lage **302**, eine Anzahl von Fluidwegen der ersten Sammelleitungs-Lage **302'**, eine zweite Sammelleitungs-Lage **303**, eine Anzahl von Fluidwegen der zweiten Sammelleitungs-Lage **303'**, und einen mikroskalierten Bereich **304**. In einer Ausführungsform ist die Größe der Vorrichtung **300** etwa $18\text{ mm} \times 12\text{ mm} \times 3\text{ mm}$. Die Höhe des Mikrokanal-Bereichs **304** beträgt 300 Mikrometer, die Breite beträgt 50 Mikrometer und die Basis beträgt 200 Mikrometer. Der Ausbreitungsbereich **301** ist 300 Mikrometer dick und in bevorzugter Weise Kupfer. Die nicht dargestellte Wärmequelle ist etwa 0,725 mm breit. Die ersten und zweiten Sammelleitungen sind etwa 2 mm breit und 10 mm lang, mit Fluidwegen, die eine Breite in dem Bereich von 0,4 bis 0,8 mm haben. Die Materialien, die für die erste und zweite Sammelleitungs-Lage eingesetzt werden, sind vorzugsweise Glas, können allerdings Kupfer, Kovar oder Glas umfassen. Die Fluidwege **302'** und **303'** weisen Einlässe und Auslässe auf, die zum Aufnehmen von Fluid ausgebildet sind, zumindest von den ersten und zweiten Sammelleitungs-Lagen. Es sei darauf verwiesen, daß die genannten Abmessungen beispielhaft sind und daß andere Abmessungen für Wärmequellen mit anderen Größen verwendet werden können.

[0043] [Fig. 3B](#) zeigt eine monolitische Wärmetauschervorrichtung **310**. Die Vorrichtung **310** weist eine Wärmequelle **301**, einen Ausbreitungsbereich **302**, einen mikroskalierten Bereich **303**, eine erste Sammelleitungs-Lage **304**, eine zweite Sammelleitungs-Lage **305** und eine obere Sammelleitung **306** auf. In einer Ausführungsform beträgt die Höhe von dem mikroskalierten Bereich **303** bis zur Oberseite der oberen Sammelleitung **306** näherungsweise 3 nun, während die Höhe von dem mikroskalierten Bereich **303** bis zur Oberseite der ersten und zweiten Sammelleitungs-Lagen **304** und **305** näherungsweise 2 mm beträgt. Es sei darauf verwiesen, daß die genannten Abmessungen beispielhaft sind, und daß andere Abmessungen für Wärmequellen mit anderen Größen verwendet werden können.

[0044] Anders als beim Stand der Technik stellen die fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauscher, die in der vorliegenden Erfindung beschrieben sind, eine extrem große Wärmeübertragungsfläche pro Einheitsvolumen auf eine optimale Weise zur Verfügung. Darüber hinaus hält die vorliegende Erfindung im wesentlichen eine Gleichförmigkeit der Temperatur in der X-Y-Richtung aufrecht, zusätzlich dazu, daß Wärme an die Umgebung mit einem niedrigen thermischen Widerstand abgegeben wird. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie einen Ausbreitungsbereich einsetzt, um die seitliche bzw. in Querrichtung erfolgende Ausbreitung der Wärme, die die Wärmequelle verläßt, zu begünstigen, zusammen mit dem mikroskalierten Bereich, um große Seitenverhältnisse bzw. Schlankheitsgrade zu erzielen, die dazu beitragen, Wärme an das Fluid zu übertragen, so daß ein optimaler, aus zusammengesetztem Material bestehender, fluidgekühlter mikroskaliert Wärmetauscher geschaffen wird.

[0045] Die vorliegende Erfindung ist in Bezug auf spezielle Ausführungsformen beschrieben worden, mit Einzelheiten, um das Verständnis der Grundlagen der Konstruktion und Arbeitsweise der vorliegenden Erfindung zu erleichtern. Eine derartige Bezugnahme auf spezielle Ausführungsformen und Einzelheiten der Erfindung ist allerdings nicht darauf gerichtet, den Umfang der angefügten Ansprüche zu beschränken. Für Fachleute auf dem vorliegenden Gebiet der Technik ist es offensichtlich, daß Veränderungen in den Ausführungsformen vorgenommen werden können, die zur Erläuterung ausgewählt worden sind, ohne daß die Grundgedanken und der Bereich der vorliegenden Erfindung verlassen werden.

Zusammenfassung der Beschreibung

[0046] Eine Vorrichtung, ein Verfahren und ein System für einen fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauscher wird beschrieben. Der fluidgekühlte mikroskalierte Wärmetauscher verwendet einen mikroskalierten Bereich und einen Ausbreitungsbereich mit speziellen Materialien und Abmessungsbereichen, um eine große Wärmeableitung und Übertragungsfläche pro Einheitsvolumen von einer Wärmequelle zu erreichen. Der mikroskalierte Bereich weist bevorzugt Mikrokanäle auf, weist allerdings in alternativen Ausführungsformen eine mikroporöse Struktur oder Mikrosäulen auf, oder besteht aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporö-

sen Struktur und Mikrosäulen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch von einer Wärmequelle, umfassend:
 - a. einen mikroskalierten Bereich, der konfiguriert ist, um eine Fluidströmung durch diesen hindurch zuzulassen, und
 - b. einen Ausbreitungsbereich, wobei der Ausbreitungsbereich eine erste Seite und eine zweite Seite aufweist, wobei die erste Seite auf der Wärmequelle positioniert ist und mit dieser gekoppelt ist, und wobei die zweite Seite mit dem mikroskalierten Bereich gekoppelt ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich eine Dickenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,3 mm bis 1,0 mm aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich breiter sind als die Wärmequelle, und wobei der mikroskalierte Bereich in Bezug auf die Wärmequelle übersteht.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessung des Überhangs des mikroskalierten Bereichs im Bereich von und einschließlich 0,0 mm bis 15,0 mm beträgt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrokanäle aufweist, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Breitenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 100 Mikrometer aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 mm aufweist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei der Mikrokanalwände voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich eine mikroporöse Struktur aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur ein poröses Material mit einer Porosität innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 bis 80% aufweist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine durchschnittliche Porengröße innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 200 Mikrometer aufweist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine Höhe innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,25 mm bis 2,0 mm aufweist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrosäulen aufweist.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrosäulen eine Anzahl von Stiften aufweisen, wobei zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Querschnittsfläche innerhalb des Bereichs von und einschließlich $(10 \text{ Mikrometer})^2$ und $(100 \text{ Mikrometer})^2$ aufweist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 Mikrometer aufweist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei aus der Anzahl von Stiften voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer

bis 150 Mikrometer getrennt sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen besteht.

18. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus Silizium besteht.

19. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von mehr als 25 W/m-K besteht.

20. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich ein mikrobearbeitetes Material mit einem großen Seitenverhältnis oder Schlankheitsgrad aufweist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus einem Halbleitermaterial besteht.

22. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus präzisionsbearbeiteten Metallen besteht.

23. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus präzisionsbearbeiteten Legierungen besteht.

24. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus einem Material besteht, das einen Wärmeleitfähigkeitswert von mehr als 120 W/m-K aufweist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich zwischen dem mikroskalierten Bereich und der Wärmequelle angeordnet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Kupfer besteht.

27. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Diamant besteht.

28. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Siliziumkarbid besteht.

29. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmequelle ein Mikroprozessor ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend eine Anzahl von Sammelleitungs-Lagen, die mit dem Ausbreitungsbereich gekoppelt sind.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Sammelleitungs-Lagen verflochtene Sammelleitungen aufweisen.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Sammelleitungs-Lagen weiter eine Anzahl von individualisierten Löchern zum Kanalisieren von Fluid in die und aus der Vorrichtung aufweisen.

33. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend eine Anzahl von Sammelleitungs-Lagen, die mit dem mikroskalierten Bereich gekoppelt sind.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Sammelleitungs-Lagen verflochtene Sammelleitungen aufweisen.

35. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Sammelleitungs-Lagen weiter eine Anzahl von individualisierten Löchern zum Kanalisieren von Fluid in die und aus der Vorrichtung aufweisen.

36. Vorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend eine Anzahl von Fluidwegen, die mit dem mikroskalierten Bereich gekoppelt sind, wobei die Anzahl von Fluidwegen konfiguriert sind, um Fluid aufzunehmen und die Fluidströmung durch diese hindurch zuzulassen.

37. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmequelle, der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich in einer monolitischen Konfiguration vorliegen.

38. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein anodisches Verbindungsverfahren miteinander gekoppelt sind.

39. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein anodisches Schmelzverbindungsverfahren miteinander gekoppelt sind.

40. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein eutektisches Verbindungsverfahren miteinander gekoppelt sind.

41. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein Klebeverbindungsverfahren miteinander gekoppelt sind.

42. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein Lötverfahren miteinander gekoppelt sind.

43. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein Schweißverfahren miteinander gekoppelt sind.

44. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein Weichlötverfahren miteinander gekoppelt sind.

45. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich und der Ausbreitungsbereich durch ein Epoxidharzverfahren miteinander gekoppelt sind.

46. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid Wasser ist.

47. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid aus der Gruppe von Wasser, Ethylenglycol, Isopropylalkohol, Ethanol, Methanol, und Wasserstoffperoxid besteht oder ausgewählt ist.

48. Vorrichtung zum fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch, umfassend:

- a. eine Wärmequelle mit einer Breite;
- b. einen mikroskalierten Bereich, der konfiguriert ist, um eine Fluidströmung durch diesen hindurch zuzulassen, wobei der mikroskalierte Bereich eine Breite und eine Dicke aufweist; und
- c. einen Ausbreitungsbereich mit einer Breite und einer Dicke, wobei der Ausbreitungsbereich eine erste Seite aufweist, die mit der Wärmequelle gekoppelt ist, und eine zweite Seite, die mit dem mikroskalierten Bereich gekoppelt ist.

49. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmequelle, der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich in einer monolitischen Konfiguration vorliegen.

50. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich breiter sind als die Wärmequelle, und wobei der mikroskalierte Bereich in Bezug auf die Wärmequelle übersteht.

51. Vorrichtung nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessung des Überhangs des mikroskalierten Bereichs im Bereich von und einschließlich 0,0 mm bis 15,0 mm beträgt.

52. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrokanäle aufweist, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen.

53. Vorrichtung nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Breitenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 100 Mikrometer aufweist.

54. Vorrichtung nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 mm aufweist.

55. Vorrichtung nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei der Mikrokanalwände voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

56. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich eine mikroporöse Struktur aufweist.

57. Vorrichtung nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur ein poröses Material mit einer Porosität innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 bis 80% aufweist.

58. Vorrichtung nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine durchschnittliche Porengröße innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 200 Mikrometer aufweist.

59. Vorrichtung nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine Höhe innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,25 mm bis 2,0 mm aufweist.

60. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrosäulen aufweist.

61. Vorrichtung nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrosäulen eine Anzahl von Stiften aufweisen, wobei zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Querschnittsfläche innerhalb des Bereichs von und einschließlich $(10 \text{ Mikrometer})^2$ und $(100 \text{ Mikrometer})^2$ aufweist.

62. Vorrichtung nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 Mikrometer aufweist.

63. Vorrichtung nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei aus der Anzahl von Stiften voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

64. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen besteht oder daraus ausgewählt ist.

65. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmequelle ein Mikroprozessor ist.

66. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite des mikroskalierten Bereichs größer ist als die Breite der Wärmequelle.

67. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich auf jeder Seite der Wärmequelle um einen Unterschied zwischen der Breite des mikroskalierten Bereichs und der entsprechenden Breite der Wärmequelle übersteht.

68. Vorrichtung nach Anspruch 67, dadurch gekennzeichnet, daß der Unterschied zwischen der Breite des mikroskalierten Bereichs und der entsprechenden Breite der Wärmequelle in dem Bereich von 0,0 mm bis 15 mm liegt.

69. Vorrichtung nach Anspruch 67, dadurch gekennzeichnet, daß der Unterschied zwischen der Breite des mikroskalierten Bereichs und der entsprechenden Breite der Wärmequelle in dem Bereich von 0,0 mm bis 5,0 mm auf jeder Seite der Wärmequelle liegt, wenn das Fluid einphasig ist.

70. Vorrichtung nach Anspruch 67, dadurch gekennzeichnet, daß der Unterschied zwischen der Breite des mikroskalierten Bereichs und der entsprechenden Breite der Wärmequelle in dem Bereich von 5,0 mm bis 15 mm auf jeder Seite der Wärmequelle liegt, wenn das Fluid zweiphasig ist.

71. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Seite des Ausbreitungsbereichs

weiterhin einen Bereich mit größerer Wärmeleitfähigkeit aufweist, der mit der Wärmequelle gekoppelt ist.

72. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich zwischen der Wärmequelle und dem mikroskalierten Bereich angeordnet ist.

73. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Kupfer besteht.

74. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Diamant besteht.

75. Vorrichtung nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich aus Siliziumkarbid besteht.

76. Verfahren zum Herstellen einer fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetauschervorrichtung, umfassend:

- a. Herstellen eines mikroskalierten Bereichs umfassend Silizium;
- b. Herstellen eines Ausbreitungsbereichs umfassend Kupfer; und
- c. Koppeln des mikroskalierten Bereichs mit dem Ausbreitungsbereich.

77. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich breiter sind als die Wärmequelle, und wobei der mikroskalierte Bereich in Bezug auf die Wärmequelle übersteht.

78. Vorrichtung nach Anspruch 77, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessung des Überhangs des mikroskalierten Bereichs im Bereich von und einschließlich 0,0 mm bis 15,0 mm beträgt.

79. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrokanäle aufweist, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen.

80. Vorrichtung nach Anspruch 79, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Breitenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 100 Mikrometer aufweist.

81. Vorrichtung nach Anspruch 79, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 mm aufweist.

82. Vorrichtung nach Anspruch 79, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei der Mikrokanalwände voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

83. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich eine mikroporöse Struktur aufweist.

84. Vorrichtung nach Anspruch 83, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur ein poröses Material mit einer Porosität innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 bis 80% aufweist.

85. Vorrichtung nach Anspruch 83, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine durchschnittliche Porengröße innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 200 Mikrometer aufweist.

86. Vorrichtung nach Anspruch 83, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine Höhe innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,25 mm bis 2,0 mm aufweist.

87. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrosäulen aufweist.

88. Vorrichtung nach Anspruch 87, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrosäulen eine Anzahl von Stiften aufweisen, wobei zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Querschnittsfläche innerhalb des Bereichs von und einschließlich $(10 \text{ Mikrometer})^2$ und $(100 \text{ Mikrometer})^2$ aufweist.

89. Vorrichtung nach Anspruch 88, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 Mikrometer aufweist.

90. Vorrichtung nach Anspruch 88, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei aus der Anzahl von Stiften voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

91. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen besteht oder daraus ausgewählt ist.

92. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Ausbreitungsbereich aus präzisionsbearbeiteten Metallen hergestellt ist.

93. Vorrichtung nach Anspruch 76, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Ausbreitungsbereich aus präzisionsbearbeiteten Legierungen hergestellt ist.

94. System zum fluidgekühlten mikroskalierten Wärmetausch, umfassend:

- a. eine Wärmequelle mit einer Breite;
- b. ein Mittel zum Ausbreiten von Wärme mit einer Breite, wobei das Mittel zum Ausbreiten von Wärme mit der Wärmequelle gekoppelt ist;
- c. ein Mittel zum Zuführen von Fluiden; und
- d. ein Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung, das konfiguriert ist zum Aufnehmen von Fluid von dem Mittel zum Zuführen von Fluid, wobei das Mittel für eine mikroskalierte Fluidströmung mit dem Mittel zum Ausbreiten von Wärme gekoppelt ist.

95. Vorrichtung nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausbreitungsbereich und der mikroskalierte Bereich breiter sind als die Wärmequelle, und wobei der mikroskalierte Bereich in Bezug auf die Wärmequelle übersteht.

96. Vorrichtung nach Anspruch 95, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessung des Überhangs des mikroskalierten Bereichs im Bereich von und einschließlich 0,0 mm bis 15,0 mm beträgt.

97. Vorrichtung nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrokanäle aufweist, wobei die Mikrokanäle Wände aufweisen.

98. Vorrichtung nach Anspruch 97, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Breitenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 100 Mikrometer aufweist.

99. Vorrichtung nach Anspruch 97, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Mikrokanalwände eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 mm aufweist.

100. Vorrichtung nach Anspruch 97, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei der Mikrokanalwände voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

101. Vorrichtung nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich eine mikroporöse Struktur aufweist.

102. Vorrichtung nach Anspruch 101, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur ein poröses Material mit einer Porosität innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 bis 80% aufweist.

103. Vorrichtung nach Anspruch 101, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine durchschnittliche Porengröße innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 200 Mikrometer aufweist.

104. Vorrichtung nach Anspruch 101, dadurch gekennzeichnet, daß die mikroporöse Struktur eine Höhe innerhalb des Bereichs von und einschließlich 0,25 mm bis 2,0 mm aufweist.

105. Vorrichtung nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich Mikrosäulen aufweist.

106. Vorrichtung nach Anspruch 105, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrosäulen eine Anzahl von Stiften aufweisen, wobei zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Querschnittsfläche innerhalb des Bereichs von und einschließlich $(10 \text{ Mikrometer})^2$ und $(100 \text{ Mikrometer})^2$ aufweist.

107. Vorrichtung nach Anspruch 106, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einer aus der Anzahl von Stiften eine Höhenabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 50 Mikrometer und 2,0 Mikrometer aufweist.

108. Vorrichtung nach Anspruch 106, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei aus der Anzahl von Stiften voneinander durch eine Abstandsabmessung innerhalb des Bereichs von und einschließlich 10 Mikrometer bis 150 Mikrometer getrennt sind.

109. Vorrichtung nach Anspruch 94, dadurch gekennzeichnet, daß der mikroskalierte Bereich aus der Gruppe von Mikrokanälen, einer mikroporösen Struktur und Mikrosäulen besteht oder daraus ausgewählt ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

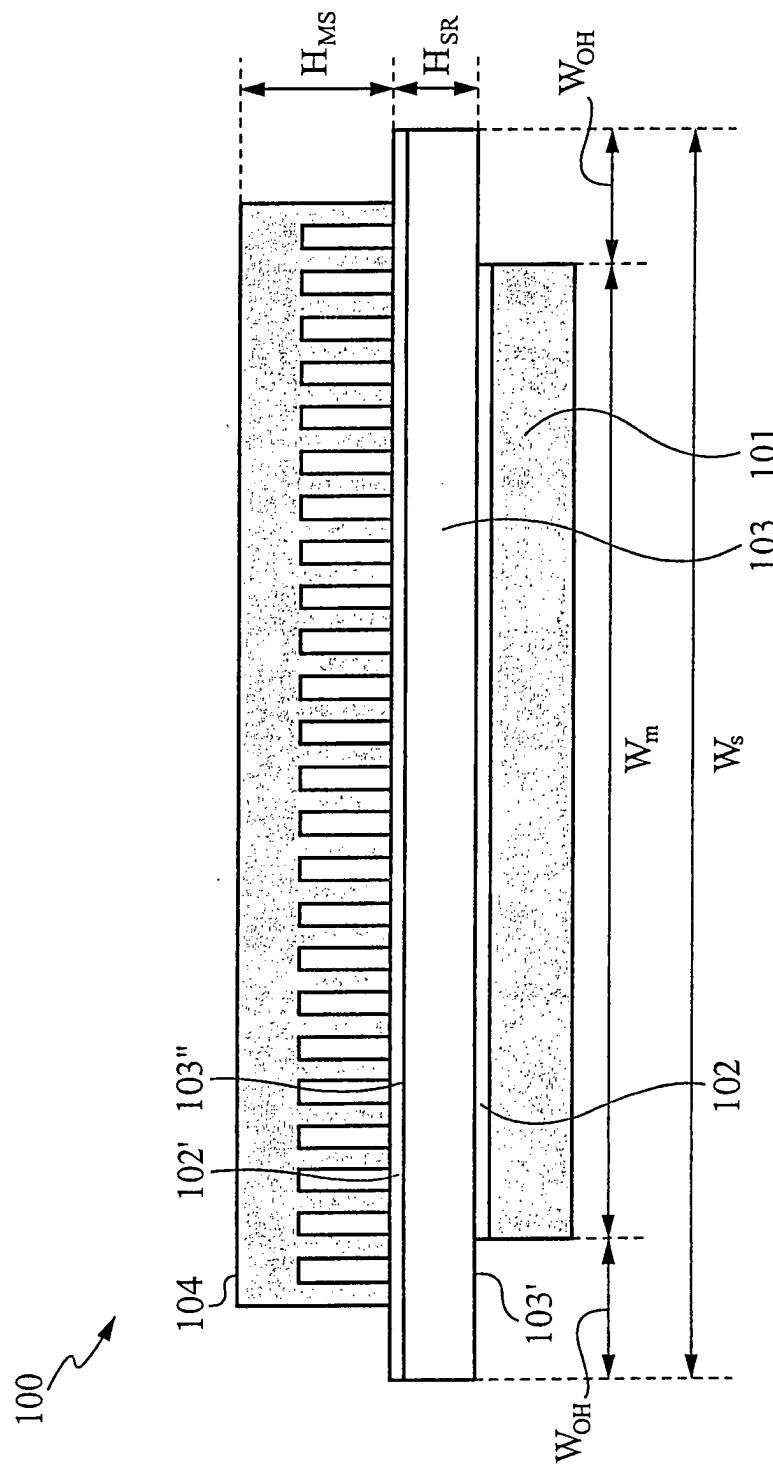


Fig. 1A

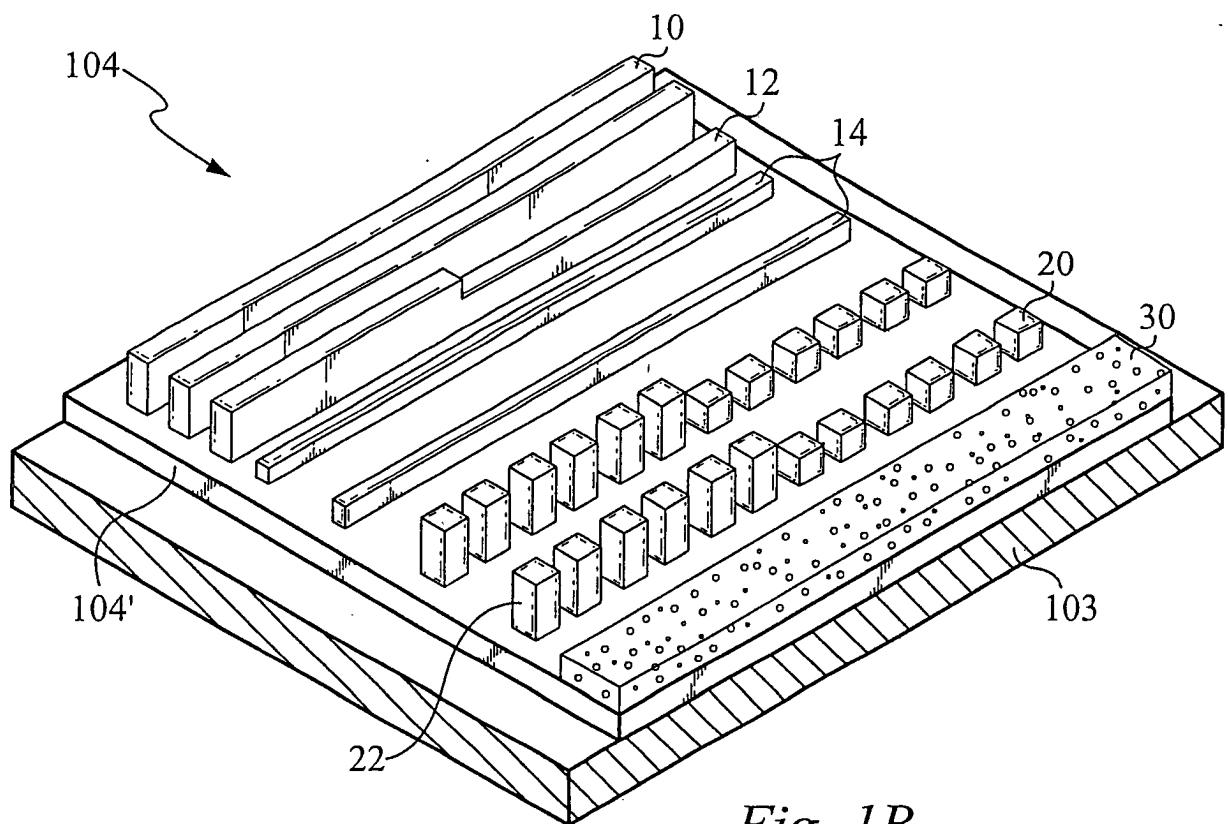


Fig. 1B

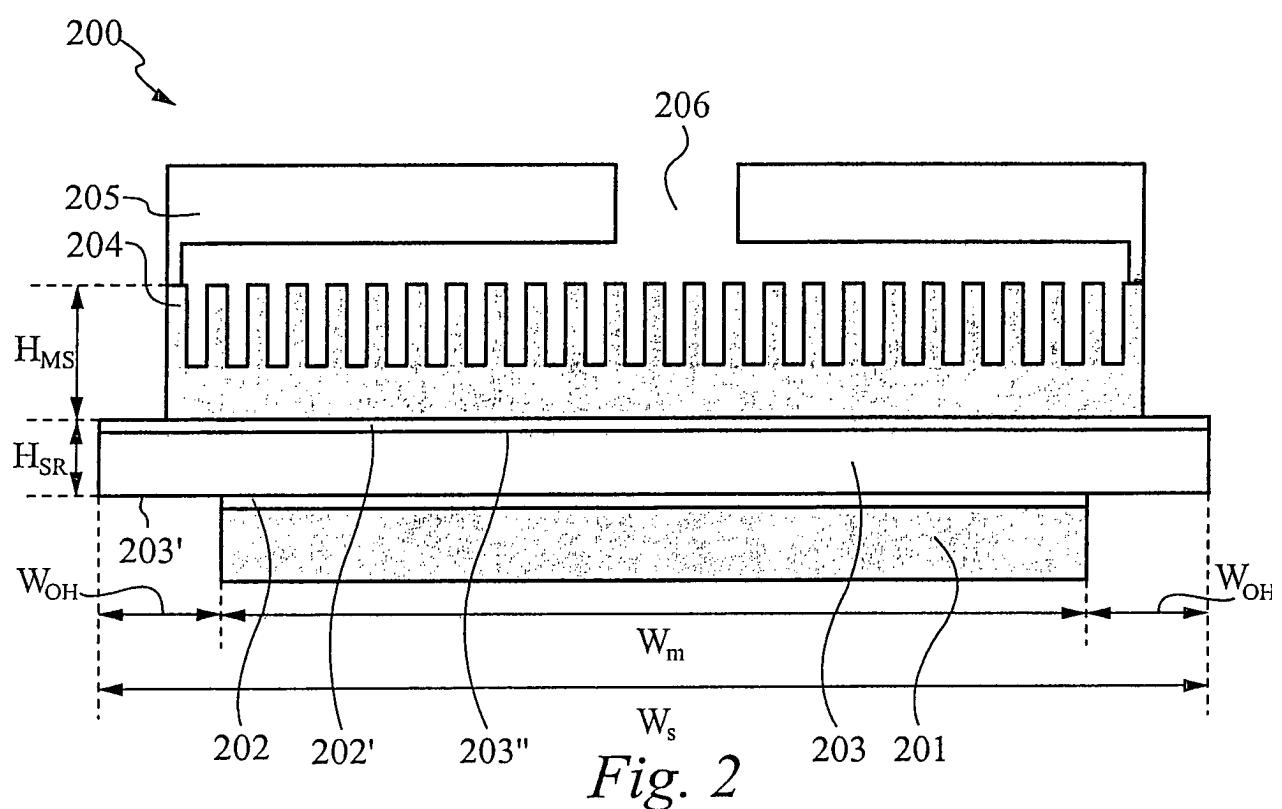


Fig. 2

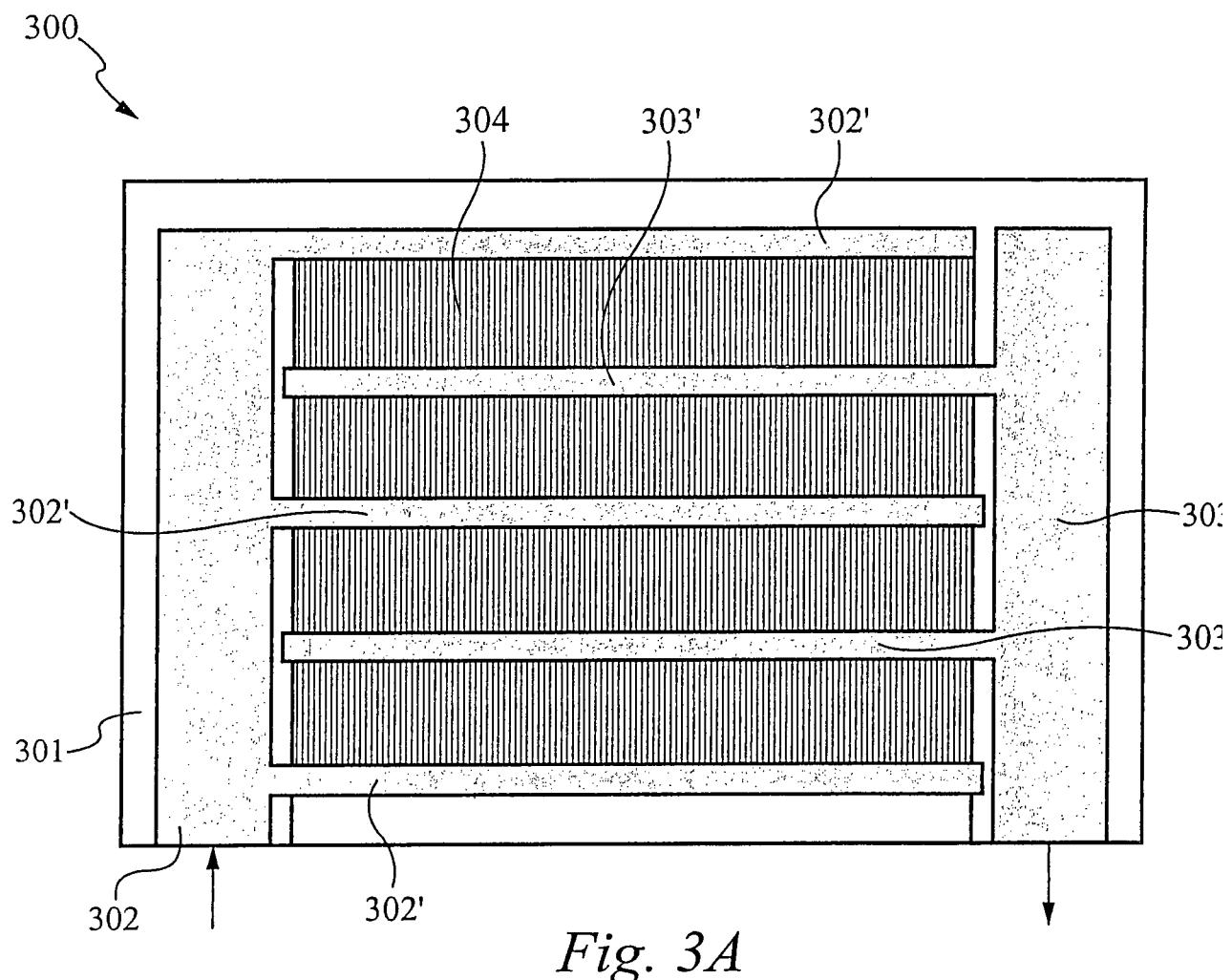


Fig. 3A

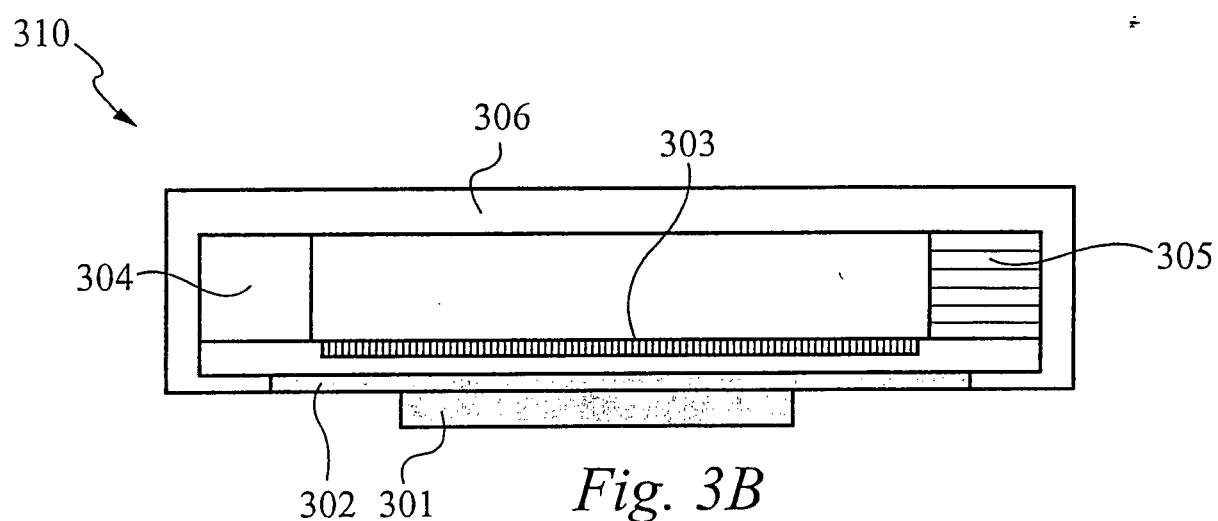


Fig. 3B