



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 10 568 A1 2004.09.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 10 568.9
(22) Anmeldetag: 11.03.2003
(43) Offenlegungstag: 23.09.2004

(51) Int Cl.7: H01L 23/427
G06F 1/20

(71) Anmelder:
Bleckmann GmbH, Lamprechtshausen, AT

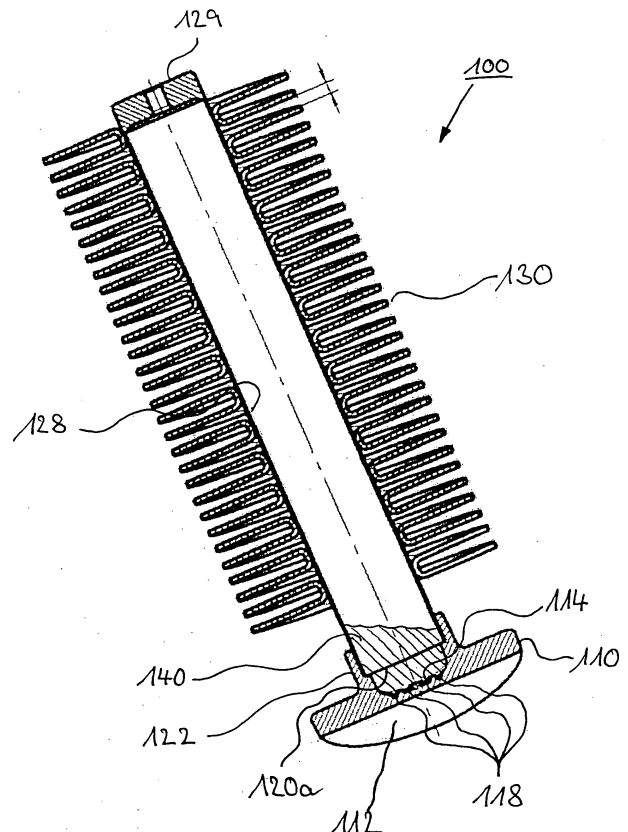
(72) Erfinder:
Zinner, Gerold, Michaelbeuern, AT; Enzenhofer,
Johann, Oberndorf, AT; Vries, Gerhardus de,
Oberndorf, AT

(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 80335 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Kühlvorrichtung für Hochleistungs-Mikroprozessoren

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, welche ein Kontaktelement (110) mit einer Kontaktfläche (112) zur Wärmeaufnahme, die mit einer Oberfläche des zu kühlenden elektronischen Bauelements in wärmeleitenden Kontakt bringbar ist, und ein nach außen hermetisch abgedichtetes, im Wesentlichen gerades und mit einem Kühlmedium (140) befülltes Wärmerohr (120) mit einem Verdampfungsbereich (122) und einen Kondensationsbereich (126) besitzt. Das Wärmerohr (120) ist stirnseitig mit seinem Verdampfungsbereich (122) mediumsicht, vorzugsweise stoffschlüssig mit dem Kontaktelement (110) verbunden, wobei eine Längsachse des Wärmerohrs (110) mit der Kontaktfläche (112) des Kontaktelements (110) einen vorbestimmten spitzen Winkel ($90^\circ - \alpha$) bildet. In vorteilhafterweise ermöglicht die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung einen Einbau in beispielsweise Hochleistungsrechner-systeme zur Prozessorkühlung, derart, dass das Wärmerohr (120) in Funktionslage so ausgerichtet ist, dass das Kühlmedium (140) unter Einwirkung der Schwerkraft stets in Richtung des Kontaktelements (110) der Kühlvorrichtung fließt. Damit kann das Wärmerohr (120) ohne aufwendige Kapillarstrukturen oder Dochtssysteme verwendet werden bzw. eine mittels des Wärmerohres gebildete Kreislaufstruktur ist nicht notwendig. Die Kühlvorrichtung der Erfindung ist besonders einfach aufgebaut und kostengünstig in der ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, entsprechend dem Anspruch 1.

[0002] Einige Bauteile von Computern, vor allem die Prozessoren wie beispielsweise die CPU (central processing unit) auf der Hauptplatine und die GPU (graphical processing unit) auf der Grafikkarte, sowie Festplatten entwickeln im Betrieb infolge der elektrischen Verlustleistung Wärme. Viele elektronische Komponenten, vor allem die Halbleiterbauelemente, sind hitzeempfindlich. Übersteigt deren Betriebstemperatur oder die Umgebungstemperatur ein vertretbares Maß, etwa 70 bis 80 °C, können Störungen oder dauerhafte Schäden auftreten. Deshalb werden Kühler eingesetzt, die die Wärme abführen. Diese dienen dazu, bestimmte Komponenten direkt zu kühlen, vor allem die Prozessoren oder Festplatten.

[0003] Der stetig steigende Leistungsbedarf moderner Computersoftware hat zu einem Wettlauf der Prozessorhersteller bei den Taktfrequenzen der Mikroprozessoren im Desktop als auch Serverbereich geführt, die neben dem erwünschten Mehr an Rechnerleistung gerade das oben genannte Verlustleistungsproblem mit sich bringen. So steigt in integrierten Schaltungen die Verlustleistung linear mit der Taktfrequenz und dem Quadrat der Core-Spannung an, d. h., im Mittel müsste die Versorgungsspannung geviertelt werden, um hinsichtlich der Verlustleistung eine Verdoppelung der Taktfrequenz des Prozessors zu kompensieren. Als weiterer Aspekt ist bei den hochintegrierten Schaltkreisen zu beobachten, dass ein immer größerer Anteil der Gesamtleistungsaufnahme für Leckströme in den Halbleiterbauelementen der Schaltkreise anfällt. Infolge dieses zunehmenden Leistungsverbrauches in den integrierten Hochleistungsschaltkreisen steigt die Menge der abzuführenden Verlustwärme. Dabei kommen moderne Prozessoren auf Verlustleistungsdichten von 100 Watt pro Quadratzentimeter und mehr; dies ist ein Vielfaches der Leistungsdichte handelsüblicher Elektroherdplatten, d. h., diese Halbleiterbauelemente sind ohne zusätzliche Kühlungsmaßnahmen zum Hitzetod verurteilt. Es werden daher Vorrichtungen benötigt, die die Betriebstemperatur hitzeempfindlicher Komponenten senken und die Einhaltung der spezifizierten Betriebstemperaturen sicherstellen.

Stand der Technik

[0004] In heutigen Computern kommen sowohl aktive als auch passive Kühler zum Einsatz. Aktive Kühler sind Lüfter, die durch einen Ventilator die Umgebungsluft bewegen und so für einen wirksameren Wärmeaustausch durch Konvektion sorgen; Lüfter führen beispielsweise die erwärmte Luft aus einem Computergehäuse ab bzw. kühlere Raumluft zu. Solche aktiven Kühler finden sich z. B. in Standardcom-

puternetzteilen. Passive Kühler sind vor allem Kühlkörper. Diese verfügen über eine besonders große Oberfläche aus Rippen, Lamellen oder ähnlichen Formen. Die vergrößerte Oberfläche soll einen umfangreicheren und rascheren Wärmeaustausch ermöglichen, als dies bei einer glatten Oberfläche der Fall ist. Damit sich die Wirkung voll entfalten kann, werden passive Kühler durch Wärmeleitpaste in möglichst guten Kontakt mit dem zu kühlenden elektronischen Bauelement gebracht; dies sichert maximalen Wärmetransport. Da passive Kühlkörper jedoch selten eine ausreichende Wärmeabfuhr sicherstellen können, werden sie meist durch kleine Lüfter ergänzt, die direkt auf dem Kühlelement montiert sind. Ein zusätzlicher Lüfter verursacht jedoch zusätzliche Kosten und auch einen zusätzlichen Energiebedarf im Betrieb. Darüber hinaus trägt er zu einer weiteren Erhöhung der Geräuschkulisse bei. Der wesentliche Nachteil der Kombination eines Kühlkörpers mit einem Lüfter liegt jedoch in dem zusätzlichen Risiko des Ausfalls des Lüfters: Da die Dimensionierung dieser Kühlkombinationen aus Kühlkörper und Lüfter unter Berücksichtigung der Wirkung des Lüfters erfolgt, bedeutet der Lüfterausfall zwangsläufig den Ausfall der benötigten Kühlleistung und damit die Gefährdung des zu kühlenden elektronischen Bauelements. Gerade bei nicht ständig beaufsichtigten aber ständig benötigten Netzwerkservern bringt der Ausfall eines Prozessors neben Kosten für den Austausch auch die Folgekosten des Systemausfalls mit sich.

[0005] Eine besondere Form des passiven Kühlers ist die Heatpipe, die z. B. in manchen Notebooks verwendet wird. Es handelt sich dabei um Röhren, die mit Wärme leitender Flüssigkeit gefüllt sind. Die EP 0 577 099 schlägt eine Kühlvorrichtung für eine Einheit elektronischer Elemente vor, bei der mehrere elektronische Elemente über eine thermisch leitende, elektrisch isolierende Schicht mit einem Basisbauteil thermisch verbunden sind, wobei die Kühlvorrichtung einen Kühlblock mit einer Oberfläche vorweist, die an dem Basisbauteil angebracht wird. Weiter besitzt die Kühlvorrichtung wenigstens eine Wärmeröhre bzw. Heatpipe mit einem darin eingeschlossenen Kühlmittel, wobei an einem ersten Endbereich der Wärmeröhre Strahlungsflächen vorgesehen sind, die im Wesentlichen rechtwinklig zu deren Achse sind. Der zweite Endbereich der Wärmeröhre ist im Inneren des Kühlblocks so angeordnet, dass er sich längs der Oberfläche des Kühlblocks in vertikaler Richtung erstreckt. Der erste Endbereich der Wärmeröhre ragt aus dem Kühlblock schräg unter einem Winkel, der nicht größer als 90° bezüglich der vertikalen Richtung ist, heraus. Des Weiteren werden noch Kombinationen der Kühlvorrichtung mit zusätzlichen Lüftern offenbart. Die in der EP 0 577 099 vorgeschlagene Kühlvorrichtung ist fertigungstechnisch äußerst aufwendig und in der Herstellung daher sehr teuer. Darüber hinaus wird das wenigstens eine Wärmerohr, wie im Stand der Technik üblich, dazu eingesetzt, um

die aus der in den elektronischen Elementen erzeugten Verlustleitung resultierende Wärme, die in den Kühlblock eingeleitet wird, von dem Kühlblock weg zu den Strahlungsflächen zu leiten. Die in der EP 0 577 099 vorgeschlagenen Strahlungsflächen sind im Wesentlichen rechtwinklig zu der Achse des Wärmerohres angeordnete Flächen. Die Ausgestaltung des Wärmeabgabebereiches mit den Strahlungsflächen bedingt jedoch eine Vorzugsrichtung für die Konvektion, der die Wärme abtransportierenden Umgebungsluft, was aber gerade hinsichtlich der weiter vorgeschlagenen Kombination mit zusätzlichen Lüftern zuträglich ist.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, eine effiziente Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, vorzuschlagen, die ohne zusätzliche elektrische Lüfter auskommt. Als eine weitere Aufgabe soll die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung möglichst einfach aufgebaut sein, um ein kostengünstiges Herstellen zu gewährleisten. Als zusätzliche Aufgabe soll die Kühlvorrichtung hinsichtlich ihrer Wärmeabgabeeigenschaften so ausgebildet sein, dass sie nach allen Richtungen eine gleich gute Konvektion zulässt.

[0007] Die Aufgabe und die weiteren Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch eine Kühlvorrichtung gemäß dem Anspruch 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, weist ein Kontaktelement mit einer Kontaktfläche zur Wärmeaufnahme, welche mit einer Oberfläche des zu kühlenden elektronischen Bauelements in wärmeleitenden Kontakt bringbar ist, vor. Weiter besitzt die Kühlvorrichtung als zentrales Element ein nach Außen hermetisch abgedichtetes, im Wesentlichen gerades und mit einem Kühlmedium bzw. einer Kühlflüssigkeit befülltes Wärmerohr. Das Wärmerohr besitzt an einem Ende einen Verdampfungsbereich und von diesem Ende abgewandt in Richtung des anderen Endes einen Kondensationsbereich. Das Wärmerohr ist an seinem Ende mit dem Verdampfungsbereich hinsichtlich des Kühlmediums mediumsicht, vorzugsweise stoffschlüssig mit dem Kontaktelement verbunden. Eine Längsachse des Wärmerohrs bildet mit der Kontaktfläche des Kontaktelements einen vorbestimmten spitzen Winkel.

[0009] Normalerweise ist ein Wärmerohr bzw. eine Heatpipe ein beidseitig geschlossenes Rohr mit einer kapillaren Innenwandstruktur, welche aufgrund von Adhäsionskräften einen Rückfluss der eingesetzten Kühlflüssigkeit für den Wärmetransport zum Bereich der Wärmeaufnahme und Verdampfung sicherstellen soll. Dies erfordert aufwendige Oberflächenbehandlungen der Innenflächen des Wärmerohres bzw. den

Einsatz geeigneter Strukturen, die einen Dochteffekt zum Rücktransport der Kühlflüssigkeit bereitstellen. Durch den Aufbau mit dem vorbestimmten spitzen Winkel kann bei der Erfindung vorteilhaft auf solche teuren und aufwendigen Maßnahmen verzichtet werden. In jeder denkbaren Einbaulage kann das Wärmerohr der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung so ausgerichtet werden, dass die Kühlflüssigkeit stets unter Einwirkung der Schwerkraft im Wärmerohr zum Verdampfungsbereich zurückfließt. Der vorbestimmte spitze Winkel zwischen der Längsachse des Wärmerohrs und der Kontaktfläche liegt dazu vorzugsweise in einem Bereich von 20° bis 70°.

[0010] In einer bevorzugten Ausführungsform der Kühlvorrichtung schließt sich der Kondensationsbereich des Wärmerohrs im Wesentlichen unmittelbar an den Verdampfungsbereich an und erstreckt sich bis zu dem zweiten Ende des Wärmerohres.

[0011] Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung einer Kühlvorrichtung können mehrere Vorteile sowohl für das Herstellen der Kühlvorrichtung als auch für die Kühlvorrichtung selber realisiert werden. So ist die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung im Vergleich zu solchen mit bzw. ohne zusätzlichen Lüfter bei gleicher Kühlleistung deutlich leichter, da der „Torso“ der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung als zentrale Baueinheit im Wesentlichen nur aus einem dünnwandigen Wärmerohr besteht. Der Einsatz eines Kühlmittels im Inneren der der Kühlvorrichtung ermöglicht einen optimalen Wärmetransport vom Ort der Verlustleitung über den Verdampfungsbereich hin zur Oberfläche der Kühlvorrichtung im Kondensationsbereich. Durch simple Nutzung der Schwerkraft für eine ebenso einfache Rückführung der Kühlflüssigkeit zum Verdampfungsbereich wurde das Prinzip des Wärmerohrs auch hinsichtlich des Herstellens der Kühlvorrichtung optimiert; für das Wärmerohr wird lediglich ein Rohr aus einem geeigneten gut wärmeleitenden Material benötigt. Es sind keine aufwendigen Oberflächenbehandlungsmaßnahmen notwendig, um eine Kapillarwirkung zum Rücktransport der Kühlflüssigkeit zur Ausbildung eines Wärmekreislaufes notwendig zu erreichen. Damit ist ein kostenoptimales Herstellen möglich.

[0012] In der bevorzugten Ausführungsform der Kühlvorrichtung ist die Außenfläche des Wärmerohrs in dem Kondensationsbereich zusätzlich mit Oberflächenvergrößerungselementen zur Vergrößerung der effektiven Kontaktfläche des Wärmerohres mit Umgebungsluft versehen. Die Oberflächenvergrößerungselemente sind dabei besonders vorteilhaft derart angeordnet, dass eine Konvektion der Umgebungsluft sowohl in Richtung der Längsachse des Wärmerohrs als auch quer zu der Längsachse des Wärmerohrs möglich ist. Bei der bevorzugten Ausführungsform werden die Oberflächenvergrößerungselemente dazu aus einer Vielzahl von Kühlstäbchen, welche jeweils eine Kühlstäbchenlängsachse besitzen, gebildet. Die Kühlstäbchenlängsachsen sind jeweils im Wesentlichen senkrecht zu der Ober-

fläche des Wärmerohres ausgerichtet. Das Wärmerohr gleicht im Kondensationsbereich bildlich dem Aussehen einer Flaschenbürste, wobei in diesem Vergleich die Borsten der Bürste den Kühlstäbchen entsprechen.

[0013] Dabei sind die Kühlstäbchen im Wesentlichen über der Oberfläche des Wärmerohrs im Kondensationsbereich gleich verteilt.

[0014] In einer ersten Ausführungsform der Kühlvorrichtung sind die Kühlstäbchen aus einem Stachelband, das wenigstens eine Kühlstäbchenreihe besitzt, gebildet. Das Stachelband ist spiralförmig bzw. helixförmig im Kondensationsbereich um das Wärmerohr gewickelt und mit dem Wärmerohr stoffschlüssig, z. B. durch Verlöten mit einem Lot, verbunden.

[0015] Das erfindungsgemäße Stachelband besteht aus einer im Wesentlichen in Laufrichtung des Stachelbandes kontinuierlich verlaufenden, einen ersten Rand und einen zweiten Rand vorweisende Stachelbandkontaktfläche. Die Kühlstäbchen sind jeweils an dem ersten und dem zweiten Rand der Stachelbandkontaktfläche im Wesentlichen gleichmäßig beabstandet und mit der Kühlstäbchenlängsachse jeweils im Wesentlichen senkrecht zur Stachelbandkontaktfläche angeordnet. Der Querschnitt des Stachelbandes quer zur Laufrichtung weist im Wesentlichen die Form eines Buchstaben „U“ auf, wobei die Seiten des Buchstaben „U“ von den Kühlstäbchen gebildet sind und die Bodenfläche des Buchstaben „U“ der Stachelbandkontaktfläche entspricht.

[0016] Es sei angemerkt, dass die erfindungsgemäße Ausführung der Oberflächenvergrößerungselemente in der Form des Stachelbandes besonders vorteilhaft zum einfachen Herstellen von Kühlkörperoberflächen verwendet werden kann. Es ist auch möglich, das erfindungsgemäße Stachelband für den umgekehrten Fall, nämlich zur Vergrößerung der Wärmeabgabefläche von Heizelementen, zu verwenden. D. h., solche Stachelbänder können auch unabhängig von der vorliegenden Erfindung verwendet werden.

[0017] In einer zweiten Ausführungsform der Kühlvorrichtung ist die Vielzahl von Kühlstäbchen aus mehreren Stachelscheiben, die wenigstens eine Kühlstäbchenreihe besitzen, gebildet. Die Kühlstäbchen einer Stachelscheibe liegen jeweils im Wesentlichen mit der Kühlstäbchenlängsachse in der Ebene der Stachelscheiben. Die Stachelscheiben sind dann mit einem vorbestimmten Abstand zu einander beabstandet auf das Wärmerohr aufgesteckt und mit dem Wärmerohr stoffschlüssig, z. B. durch Verlöten mit einem Lot, verbunden.

[0018] Die Kühlvorrichtung besteht daher im Wesentlichen aus drei Grundelementen, dem Kontaktelement, dem Wärmerohr und den Oberflächenvergrößerungselementen des Wärmerohres gebildet ist, die stoffschlüssig miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht ein besonders einfaches, kostengünstiges und schnelles Herstellen der Kühlvorrichtung.

[0019] Hinsichtlich des Wärmerohrs der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung ist diese besonders vorteilhaft für das Herstellen an dem Ende mit dem Verdampfungsbereich durch das Kontaktelement verschlossen. Dadurch entfällt beim Herstellen des Wärmerohres besonders vorteilhaft ein Fertigungsschritt, in dem das Wärmerohr auf der Verdampfungsseite extra verschlossen werden muss. Darüber hinaus stellt, wie im Stand der Technik üblich, die Wandung eines Wärmerohres gegenüber dem Kontaktelement, dass mit der Quelle der abzuführenden Verlustleistung in Kontakt steht, einen weiteren Wärmewiderstand dar, der bei der Erfindung vorteilhaft vermieden ist.

[0020] Zusätzlich kann in der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung die im Inneren des Wärmerohrs angeordnete Oberfläche des Kontaktelementes Mittel zur Vergrößerung der mit dem Kühlmedium in Kontakt stehenden Oberfläche, vorzugsweise Rillen bzw. Vertiefungen, aufweisen. Dadurch ist der Wärmetransport durch Verdunstungsarbeit im Verdampfungsbereich des Wärmerohrs bei der Erfindung noch besser.

[0021] Die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung besteht aus einem gut wärmeleitenden Material, vorzugsweise aus Aluminium bzw. einer Aluminiumlegierung, mit einem geringen spezifischen Gewicht. Die Ausführung der Kühlvorrichtung aus einem Leichtmetall mit guten Wärmeleiteigenschaften, in der Kombination damit, dass der Körper der Kühlvorrichtung im Wesentlichen aus einem filigranen Wärmerohr besteht, ermöglicht das äußerst geringe Gesamtgewicht. Dadurch können die Spezifikationen der Prozessorhersteller bzw. der Computerhauptplatinenhersteller hinsichtlich der maximal zulässigen Gewichtsbelastung bzw. (Dreh-)Momentbelastung des Sockels bzw. der Verbindung des Prozessors mit der Hauptplatine leichter bzw. ohne Probleme eingehalten werden. Das Wärmerohr der Erfindung weist vorzugsweise eine Wandstärke in einem Bereich von 0.2 mm bis 2 mm auf. Es sei angemerkt, dass zur Gewichtsoptimierung der Kühlvorrichtung ein möglichst dünnwandiges Wärmerohr bevorzugt wird, d. h. die Wandstärke hinsichtlich der maximalen Dicke nicht zwingend auf 2 mm eingeschränkt ist. Für den Fachmann ist es selbstverständlich, dass ab einer gewissen Wandstärke die Vorteile der schnellen Wärmeleitung durch das Wärmerohr durch die Wärmeleiteigenschaften der Wandung kompensiert werden können.

[0022] Als Kühlmedium bzw. Kühlflüssigkeit für das Wärmerohr wird zur schnellen Wärmeaufnahme, Wärmetransport und Wärmeabgabe ein fließfähiges und in einem vorbestimmten Temperaturbereich, vorzugsweise von 60°C bis 80°C, verdampfbares Medium verwendet. Prinzipiell ist jede Arbeitsflüssigkeit, im einfachsten Fall Wasser, geeignet, die ab einer Temperatur, die an dem zu kühlenden elektronischen Bauelement einzuhalten ist unter den Druckverhältnissen in dem evakuierten Wärmerohr verdampft

bzw. verdunstet. Vorzugsweise werden Freon oder Freonersatzstoffe, oder Alkohole, vorzugsweise Methanol oder Ethanol, oder ein geeignetes Gemisch von diesen Stoffen verwendet. Da in dem hohlen Wärmerohr ein hoher Unterdruck bzw. Vakuum herrscht, ist der Wärmetransport mittels der Verdampfung und dem Kondensieren der Kühlflüssigkeit besonders effektiv. Dadurch besitzt die Kühlvorrichtung einen extrem hohen Wärmeübergangskoeffizienten, der von herkömmlichen massiven Metallkühlkörpern nicht erreicht werden kann.

Ausführungsbeispiel

[0023] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sowie Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung werden nachstehend anhand der Zeichnungsfiguren erläutert. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass sich die bei der Beschreibung des Ausführungsbeispiels verwendeten Begriffe „oben“, „unten“, „links“ und „rechts“ auf die Zeichnungsfiguren mit normal lesbaren Bezugszeichen und Figurenbezeichnungen beziehen. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass in den Zeichnungsfiguren funktionsgleiche und/oder geometrisch gleiche Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Im Einzelnen ist:

[0024] **Fig. 1a** eine perspektivische Seitenansicht auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung;

[0025] **Fig. 1b** eine Längsschnittansicht entlang der Linie A-A' der in **Fig. 1** gezeigten Kühlvorrichtung;

[0026] **Fig. 2a** eine Draufsicht auf ein Grundelement, aus dem ein erfindungsgemäßes Stachelband für die Oberflächenvergrößerungselemente der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gebildet wird;

[0027] **Fig. 2b** eine Seitenansicht auf ein, aus dem Grundelement der **Fig. 2a** gebildeten Stachelbands quer zur Bandrichtung; und

[0028] **Fig. 2c** eine perspektivische Darstellung des Stachelbands aus **Fig. 2b**.

[0029] **Fig. 1a** zeigt das bevorzugte Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung **100**. Die Kühlvorrichtung **100** hat ein Kontaktelement **110** mit einer Kontaktfläche **112**, mit der die Kühlvorrichtung **100** auf ein elektronisches Bauelement (nicht gezeigt) montierbar ist. Für einen optimalen Kontakt zur Oberfläche des zu kühlenden elektronischen Bauelementes ist die Kontaktfläche plan gerichtet. Zwischen der Kontaktfläche **112** und der Oberfläche des elektronischen Bauelementes kann gegebenenfalls eine Wärmeleitpaste, ein Wärmeleitpad oder dergleichen zur Verbesserung der Wärmeabgabe eingesetzt werden. Zum lösabaren Befestigen der Kühlvorrichtung am elektronischen Bauelement wird ein entsprechend angepasstes Befestigungselement verwendet (nicht gezeigt).

[0030] An dem Kontaktelement **110** der Kühlvorrichtung **100** ist stoffschlüssig ein Wärmerohr **120** aus

gut wärmeleitendem Material befestigt, welches sich unter einem vorbestimmten spitzen Winkel ($90^\circ - \alpha$), in der **Fig. 1a** und **1b** mit 67° , gegenüber der Ebene der Kontaktfläche **112** nach oben erstreckt und welches mit im Wesentlichen seiner Stirnseite **120a** und gegebenenfalls dem sich unmittelbar daran anschließenden kurzen Rohrabschnitt in wärmeleitender Verbindung mit dem Kontaktelement **110** steht. An der Verbindungsstelle des Wärmerohres **120** mit dem Kontaktelement **110** befindet sich ein Verdampfungsbereich **122** des Wärmerohres **120**, in dem eine Kühlflüssigkeit innerhalb des Wärmerohres **120** durch Verdunsten bzw. Verdampfen in Folge der Wärmeaufnahme über das Kontaktelement **110** Wärmeenergie aufnimmt und mit einer Geschwindigkeit höher als in gut wärmeleitenden Metallen im Wärmerohr **120** nach oben transportiert.

[0031] An dem Verdampfungsbereich **122** des Wärmerohres **120** schließt sich im Wesentlichen unmittelbar der Kondensationsbereich **126** des Wärmerohres **120** an, der sich bis zum anderen Ende **129** des Wärmerohres **120** erstreckt. Im Kondensationsbereich **126** sublimiert das gasförmige Kühlmedium im Inneren des Wärmerohres **120** durch Kondensation an der kühleren Innenfläche des Wärmerohres **120** und gibt dabei die gespeicherte Wärmeenergie an die Wandung des Wärmerohres **120** ab. Im Kondensationsbereich **126** des Wärmerohres **120** sind an der Außenfläche des Wärmerohres **120** Oberflächenvergrößerungselemente **130**, welche die Oberfläche des Wärmerohres **120** gegenüber der Umgebungsluft vergrößern, vorgesehen. Die Oberflächenvergrößerungselemente **130** sind spiralförmig im Kondensationsbereich **126** um das Wärmerohr **120** gewickelt. In der **Fig. 1a** sind die Oberflächenvergrößerungselemente **130** vereinfacht als Flächen dargestellt, die sich in der Form einer Doppelhelix am Wärmerohr **120** beginnend nach dem Verdampfungsbereich **122** nach oben erstrecken. Auf die genaue Ausgestaltung der Oberflächenvergrößerungselemente **130** wird im Zusammenhang mit den **Fig. 2a** bis **2c** im Detail eingegangen. Durch die Oberflächenvergrößerungselemente **130** wird über Konvektion und Wärmestrahlung die Wärmeenergie, welche von der Kühlflüssigkeit durch die Sublimation an die Wandung des Wärmerohres abgegeben wird, an die Umgebungsluft übertragen und abgeführt. Somit leistet die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung ohne Einsatz eines zusätzlichen elektrischen Lüfters einen schnellen und effektiven Abtransport der Verlustleistung des elektronischen Bauelementes.

[0032] Die **Fig. 1b** zeigt eine Seitenansicht auf einen Längsschnitt durch die Kühlvorrichtung **100** aus der **Fig. 1a** entlang der dort markierten Linie A-A'. Im Vergleich zur **Fig. 1a** erkennt man in **Fig. 1b** noch deutlicher den einfachen, aber dennoch wirksamen Aufbau der Kühlvorrichtung **100**. Funktional tritt besonders klar hervor, dass im Wesentlichen lediglich drei Bauelemente bei der Herstellung anfallen: das Kontaktelement **110**, das Wärmerohr **120** und die

Oberflächenvergrößerungselemente **130**. In der **Fig. 1b** sind im Verdampfungsbereich **122** des Wärmerohrs **120** auf der im Inneren des Wärmerohres **120** liegenden Oberfläche **114** des Kontaktelements **110** vorgesehenen Mittel zur Vergrößerung der mit dem Kühlmedium in Kontakt stehenden Oberfläche, nämlich Vertiefungen **118**, zu erkennen. Im Verdampfungsbereich **122** des Wärmerohres **120** befindet sich im Inneren des Wärmerohrs **120** ein Kühlmedium **140**, das so ausgewählt ist, dass es in etwa geringfügig über der gewünschten normalen Betriebstemperatur des zu kühlenden elektronischen Bauelements zu verdampfen beginnt. Bei der Sublimation vom flüssigen in den gasförmigen Zustand nimmt das Kühlmedium **140** Wärmeenergie auf und steigt im Wärmerohr **120** nach oben. Da die Innenwandoberfläche **128** des Wärmerohrs **120** nach oben hin graduell in der Temperatur abnimmt, wird die gasförmige Kühlflüssigkeit beim Aufstieg im Wärmerohr **120** auf dem Weg nach oben durch den Kontakt mit der kühlen Wand abgekühlt. Dabei kondensiert das Kühlmittel schließlich wieder vollständig an der Innenwandoberfläche **128** aus und gibt die gespeicherte Wärmeenergie an das gut wärmeleitende Material des Wärmerohrs **120** ab. Über die Oberflächenvergrößerungselemente **130** auf der Außenseite des Wärmerohrs **120** wird die Wärmeenergie an die Umgebungsluft abgegeben. Die kondensierte Kühlflüssigkeit **140** läuft unter der Einwirkung der Schwerkraft an der Innenwandoberfläche **128** des Wärmerohrs **120** nach unten zurück in den Verdampfungsbereich **122**. Damit ist der simple Kühlkreislauf geschlossen.

[0033] Es ist noch zu bemerken, dass das Kontaktelement **110** an seiner zu dem Wärmerohr **120** weisenden Seite einen konzentrisch zum Mittelpunkt des kreisförmigen Kontaktelements **110** angeordneten Ringkragen **110a** besitzt, dessen Innendurchmesser zumindest annähernd dem Außendurchmesser des Wärmerohrs **120** entspricht. An einer Seite ist der Ringkragen **110a** mit einer Ausklinkung **110b** versehen, die in Form und Größe dem Winkel des Wärmerohrs **120** gegenüber der Kontaktfläche **112** angepasst ist. Das Wärmerohr **120** ist in den Ringkragen **110a** hinsichtlich des Kühlmediums mediums dicht, vorzugsweise stoffschlüssig, insbesondere durch ein Lot gut wärmeleitend befestigt.

[0034] Hinsichtlich der Ausgestaltung der Oberflächenvergrößerungsmittel **130** kann der **Fig. 1b** entnommen werden, dass die vorstehend beschriebene Doppelhelix aus einem spiralförmig um das Wärmerohr **120** nach oben laufendes Band gebildet ist, dass einen Querschnitt in der Form eines Buchstaben „U“ aufweist, wobei das Band mit der Bodenfläche des „U“ mit dem Wärmerohr stoffschlüssig und wärmeleitend verbunden ist.

[0035] Die **Fig. 2a** bis **2c** zeigen im Detail wie die erfindungsgemäßen Kühlstäbchen der Oberflächenvergrößerungselemente **130** äußerst einfach und wirksam ausgestaltet und gleichermaßen einfach und effizient hergestellt sind. Als Grundelement beim

Herstellen der erfindungsgemäßen Oberflächenvergrößerungselemente wird ein Blech **200** aus einem Material, das eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzt und eine Elastizität aufweist, die ein Formgeben durch Kaltverformen zulässt, verwendet; bevorzugt wird das gleiche Material ausgewählt wie für das Kontaktelement **110** und das Wärmerohr **120**, in den **Fig. 1a**, **1b**, in der bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung wird daher ein Alublech bzw. einem Blech aus einer Aluminiumlegierung benutzt. Selbstverständlich ist es auch möglich andere Metalle oder Metalllegierungen wie beispielsweise Kupfer oder eine Kupferlegierungen einzusetzen.

[0036] Aus dem Blech **200** wird eine Grundstruktur **210** ausgestanzt, aus der ein erfindungsgemäßes Stachelband **250** geformt wird, mit dem äußerst einfach die Oberflächenvergrößerungselemente **130** im Kondensationsbereich **126** des Wärmerohrs **120** gebildet werden können. Die Grundstruktur **210** sieht wie ein Doppelkamm mit zwei Zinkenreihen **212**, **214** aus, bei dem jeweils eine der Zinkenreihe **212**, **214** von einem oberen Rand **222** und einem unteren Rand **224** eines Mittelsteg **220** ausgehen. Alle Zinken **230** der beiden Zinkenreihen **212**, **214** liegen in der durch das Blech **200** festgelegten Ebene. Dabei ist es möglich, dass die Zinken **230** der beiden Zinkenreihen **212**, **214** symmetrisch zueinander angeordnet sind, d. h. einem Zinken **230** am oberen Rand **222** liegt ein Zinken **230** des unteren Randes **224** gegenüber. Es ist aber genauso möglich, dass einem Zwischenraum **231** zwischen zwei Zinken **230a**, **230** in der oberen Zinkenreihe **214** genau ein Zinken **230c** in der unteren Zinkenreihe **212** gegenüberliegt. Schließlich ist auch ein beliebiger Versatz der Zinken **230** in den Zinkenreihen **212**, **214** zueinander denkbar. Vorzugsweise besitzen die Zinken **230** eine Stärke **232**, die dem Abstand **231** zweier Zinken **230** in einer der Zinkenreihen **212**, **214** zueinander entspricht. Selbstverständlich können auch unterschiedliche Abmaße verwendet werden.

[0037] Hinsichtlich des erfindungsgemäßen Stachelbandes **250** ist an der Grundstruktur **210** schon erkennbar, dass ein Zinken **230** einem Kühlstäbchen **252** der Oberflächenvergrößerungselemente **130** und der Mittelsteg **220** der Stachelbandkontaktfläche **254**, mit der das Stachelband **250** an der Kühlvorrichtung **100** mit dem Wärmerohr **120** verbunden wird, entspricht. Um aus der Grundstruktur **210** das Stachelband **250** zu bilden, werden lediglich, wie aus der **Fig. 2b** ersichtlich, die beiden Zinkenreihen **212**, **214** in Bezug auf den Mittelsteg **220** durch Umbiegen um einen Winkel von annähernd 90° senkrecht nach oben ausgerichtet. Damit hat das in der **Fig. 2c** in einer dreidimensionalen Draufsicht dargestellte Stachelband **250** eine Querschnittsform ähnlich einem Buchstaben „U“, wobei jeweils eine der Zinkenreihen **212**, **214** eine linke und rechte Seiten des „U“ ausbilden und die Unterseite des „U“ vom Mittelsteg **220** gebildet wird und der Stachelbandkontaktfläche **254**

entspricht. Besonders vorteilhaft können mit dem erfindungsgemäßen Stachelband **250** die Oberflächenvergrößerungselemente **130** in Form von Kühlstäbchen **252** im Kondensationsbereich **126** des Wärmerohrs **120** erzeugt werden. Dieser „Aufwickelschritt“ ist fertigungstechnisch relativ einfach zu realisieren. Auch an dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass das erfindungsgemäße Stachelband zur Erzeugung größerer effektiver Oberflächen zur Verbesserung von Wärmeübergängen beispielsweise auch an Heizelementen und anderen Vorrichtungen, die eine Wärmeübertragung von einer Wärmequelle zu einem Wärmemedium erfordern, verwendet werden kann.

[0038] Mit der vorstehend beschriebenen Erfindung wurde eine innovative Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, vorgeschlagen, die ein Kontaktelement mit einer Kontaktfläche zur Wärmeaufnahme, welche mit einer Oberfläche des zu kühlenden elektronischen Bauelements in wärmeleitenden Kontakt bringbar ist, und ein nach Außen hermetisch abgedichtetes, im Wesentlichen gerades und mit einem Kühlmedium befülltes Wärmerohr mit einem Verdampfungsbereich und einen Kondensationsbereich besitzt. Das Wärmerohr ist mit dem Verdampfungsbereich stoffschlüssig mit dem Kontaktelement verbunden, wobei eine Längsachse des Wärmerohrs mit der Kontaktfläche des Kontaktelements einen vorbestimmten spitzen Winkel bildet. In Vorteilhafterweise ermöglicht die erfindungsgemäße Kühlvorrichtung einen Einbau in beispielsweise Hochleistungsrechnersysteme zur Prozessorkühlung derart, dass das Wärmerohr in Funktionslage so ausgerichtet ist, dass das Kühlmedium unter Einwirkung der Schwerkraft stets in Richtung des Kontaktelements der Kühlvorrichtung fließt. Damit kann ein Wärmerohr ohne aufwendige Kapillarstrukturen oder Dochtsysteme verwendet werden bzw. eine mittels des Wärmerohres gebildete Kreislaufstruktur wird nicht benötigt. Die Kühlvorrichtung der Erfindung ist besonders einfach aufgebaut und kostengünstig in der Herstellung und ermöglicht eine effektive passive Kühlung von Hochleistungsprozessoren ohne Einsatz von zusätzlichen elektrischen Lüftern. Insbesondere die vorgeschlagene konstruktive Lösung hinsichtlich der Oberflächenvergrößerungselemente der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung ist besonders einfach und effektiv. Es sei angemerkt, dass diese Oberflächenvergrößerungselemente zur Abgabe von Wärme an die Umgebungsluft auch für andere Anwendungen verwendet werden können.

Patentansprüche

1. Kühlvorrichtung für elektronische Bauelemente mit hohen Verlustleistungsdichten, insbesondere für Hochleistungs-Mikroprozessoren, umfassend:
a. ein Kontaktelement (**110**) mit einer Kontaktfläche

(**112**) zur Wärmeaufnahme, welche mit einer Oberfläche des zu kühlenden elektronischen Bauelements in wärmeleitenden Kontakt bringbar ist;
b. ein nach Außen hermetisch abgedichtetes, im Wesentlichen gerades und mit einem Kühlmedium (**140**) befülltes Wärmerohr (**120**) mit einem Verdampfungsbereich (**122**) und einen Kondensationsbereich (**126**);
wobei das Wärmerohr (**120**) mit seinem Verdampfungsbereich (**122**) kühlmediumsdicht, vorzugsweise stoffschlüssig mit dem Kontaktelement (**110**) verbunden ist und eine Längsachse des Wärmerohrs (**120**) mit der Kontaktfläche (**112**) des Kontaktelements (**110**) einen vorbestimmten spitzen Winkel ($90^\circ - \alpha$) bildet.

2. Kühlvorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Kondensationsbereich (**126**) des Wärmerohrs (**120**) im Wesentlichen unmittelbar nach dem Verdampfungsbereich (**122**) beginnt und sich bis zu einem zweiten Ende (**129**) des Wärmerohres (**120**) erstreckt.

3. Kühlvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Außenfläche des Wärmerohrs (**120**) in dem Kondensationsbereich (**126**) mit Oberflächenvergrößerungselementen (**130**) zur Vergrößerung der effektiven Kontaktfläche des Wärmerohres (**120**) mit Umgebungsluft versehen ist, die derart angeordnet sind, dass eine Konvektion der Umgebungsluft sowohl in Richtung der Längsachse des Wärmerohrs (**120**) als auch quer zu der Längsachse des Wärmerohrs (**120**) möglich ist.

4. Kühlvorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Oberflächenvergrößerungselemente (**130**) aus einer Vielzahl von Kühlstäbchen (**252**), welche jeweils eine Kühlstäbchenlängsachse besitzen, gebildet ist, die jeweils im Wesentlichen senkrecht zu der Oberfläche des Wärmerohres (**120**) ausgerichtet ist.

5. Kühlvorrichtung nach Anspruch 4, wobei die Kühlstäbchen (**252**) im Wesentlichen über der Oberfläche des Wärmerohrs (**120**) im Kondensationsbereich (**126**) gleich verteilt sind.

6. Kühlvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Kühlstäbchen (**252**) aus einem Stachelband (**250**) mit wenigstens einer Kühlstäbchenreihe (**212**, **214**) gebildet sind, welches spiralförmig im Kondensationsbereich (**126**) um das Wärmerohr (**120**) gewickelt und mit dem Wärmerohr (**120**) stoffschlüssig verbunden ist.

7. Kühlvorrichtung nach Anspruch 6, wobei das Stachelband (**250**) aus einer im Wesentlichen in Richtung des Stachelbandes (**250**) kontinuierlich verlaufenden, einen ersten Rand (**222**) und zweiten Rand (**224**) vorweisenden Stachelbandkontaktfläche (**254**) besteht und die Kühlstäbchen (**252**) jeweils an

dem ersten Rand (**222**) und dem zweiten Rand (**224**) gleichmäßig beabstandet und mit der Kühlstäbchenlängsachse jeweils im Wesentlichen senkrecht zur Stachelbandkontaktfläche (**254**) angeordnet sind.

8. Kühlvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Vielzahl von Kühlstäbchen aus Stachelscheiben mit wenigstens einer Kühlstäbchenreihe, die jeweils im Wesentlichen mit der Kühlstäbchenlängsachse in der Ebene der Stachelscheiben liegen, gebildet ist, welche beabstandet auf das Wärmerohr aufgesteckt und mit dem Wärmerohr stoffschlüssig verbunden sind.

9. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Wärmerohr (**120**) an dem stirnseitigen Ende mit dem Verdampfungsbereich (**122**) durch das Kontaktelement (**110**) verschlossen ist.

10. Kühlvorrichtung nach Anspruch 9, wobei die im Inneren des Wärmerohrs (**120**) angeordnete Oberfläche (**114**) des Kontaktelementes (**110**) Mittel zur Vergrößerung der mit dem Kühlmedium (**140**) in Kontakt stehenden Oberfläche (**114**), vorzugsweise Rillen bzw. Vertiefungen (**118**), aufweist.

11. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kühlvorrichtung aus einem gut wärmeleitenden Material, vorzugsweise aus Aluminium bzw. einer Aluminiumlegierung, mit einem geringen spezifischen Gewicht besteht.

12. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kühlmedium (**140**) zur schnellen Wärmeaufnahme, Wärmetransport und Wärmeabgabe ein fließfähiges und in einem Temperaturbereich von 60°C bis 80°C verdampfbares Medium ist, vorzugsweise Freon oder Freonersatzstoffe, Alkohole, vorzugsweise Methanol oder Ethanol, oder Gemische aus diesen Stoffen.

13. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der vorbestimmte spitze Winkel ($90^\circ - \alpha$) zwischen der Längsachse des Wärmerohrs (**120**) und der Kontaktfläche (**112**) vorzugsweise in einem Bereich von 20° bis 70° liegt.

14. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Wärmerohr (**120**) vorzugsweise eine Wandstärke in einem Bereich von 0.2 mm bis 2 mm aufweist.

15. Kühlvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kühlvorrichtung im Wesentlichen aus drei Grundelementen, dem Kontaktelement (**110**), dem Wärmerohr (**120**) und den Oberflächenvergrößerungselementen (**130**) gebildet ist, die stoffschlüssig miteinander verbunden sind.

16. Elektronisches Bauelement mit einer Kühlvorrichtung entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Wärmerohr der Kühlvorrichtung in Funktionslage des elektronischen Bauelementes so ausgerichtet ist, dass das fließfähige Kühlmedium unter Einfluss der Schwerkraft in Richtung des Kontaktelementes der Kühlvorrichtung fließt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

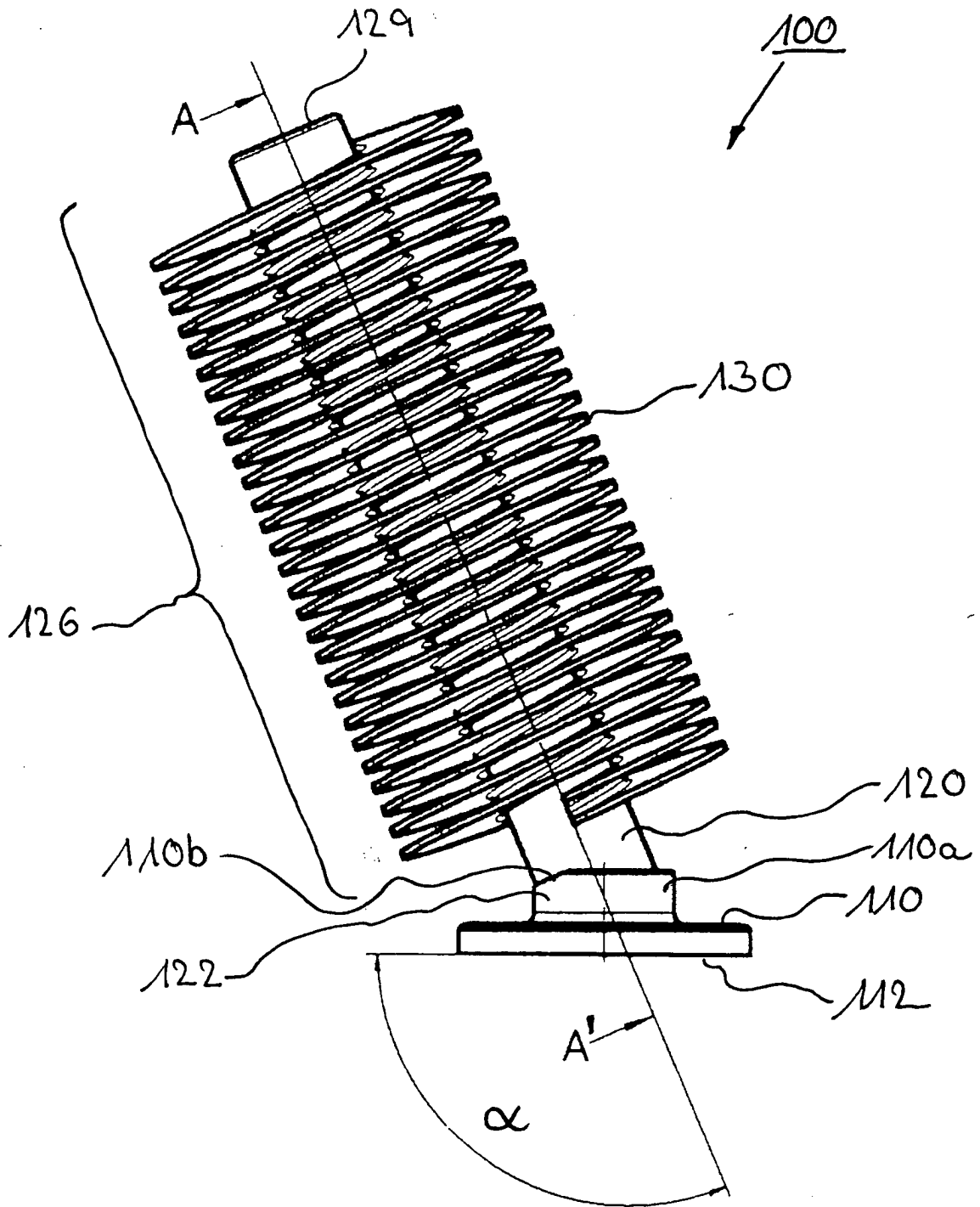


Fig. 1a

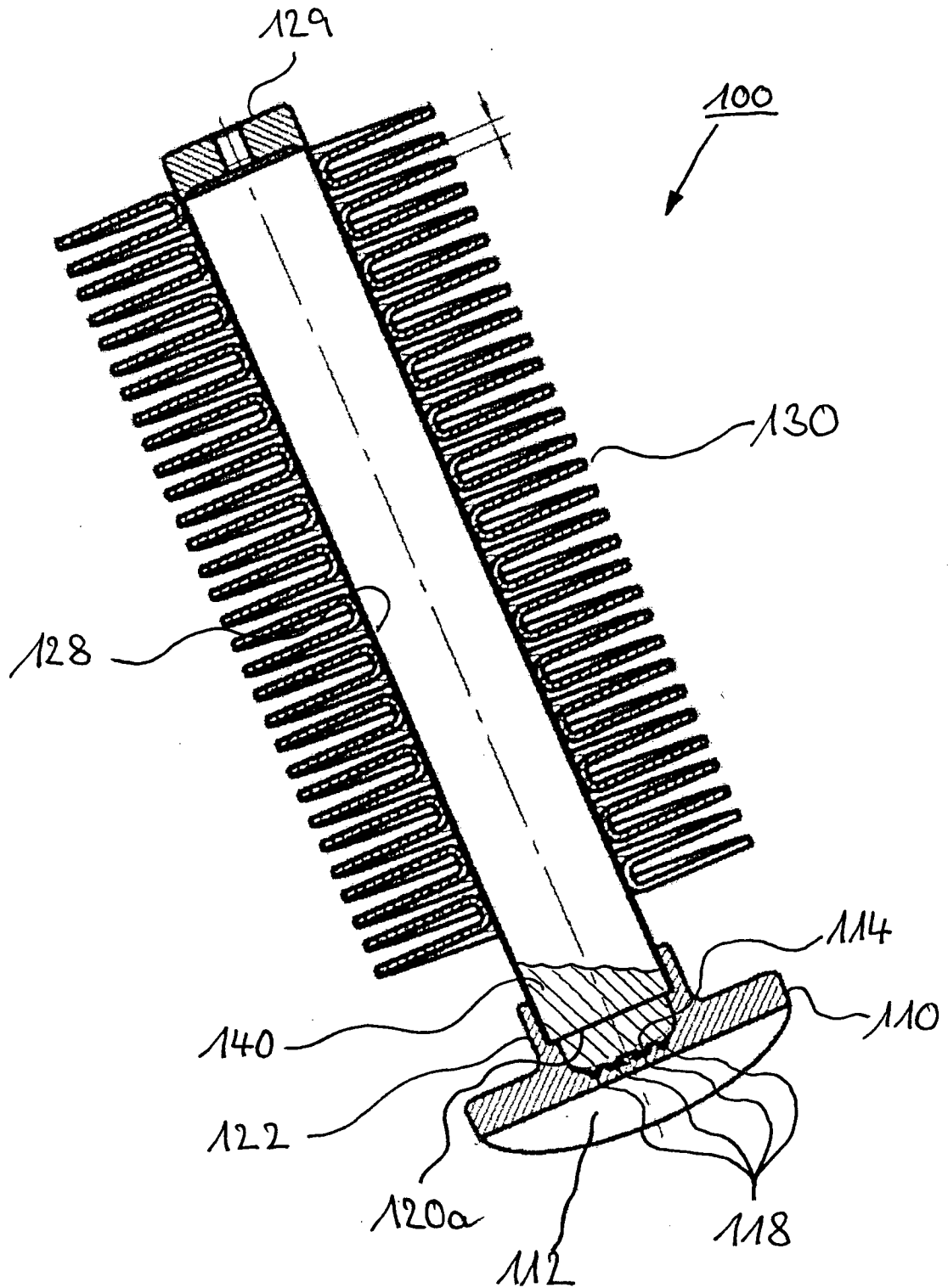


Fig. 1b

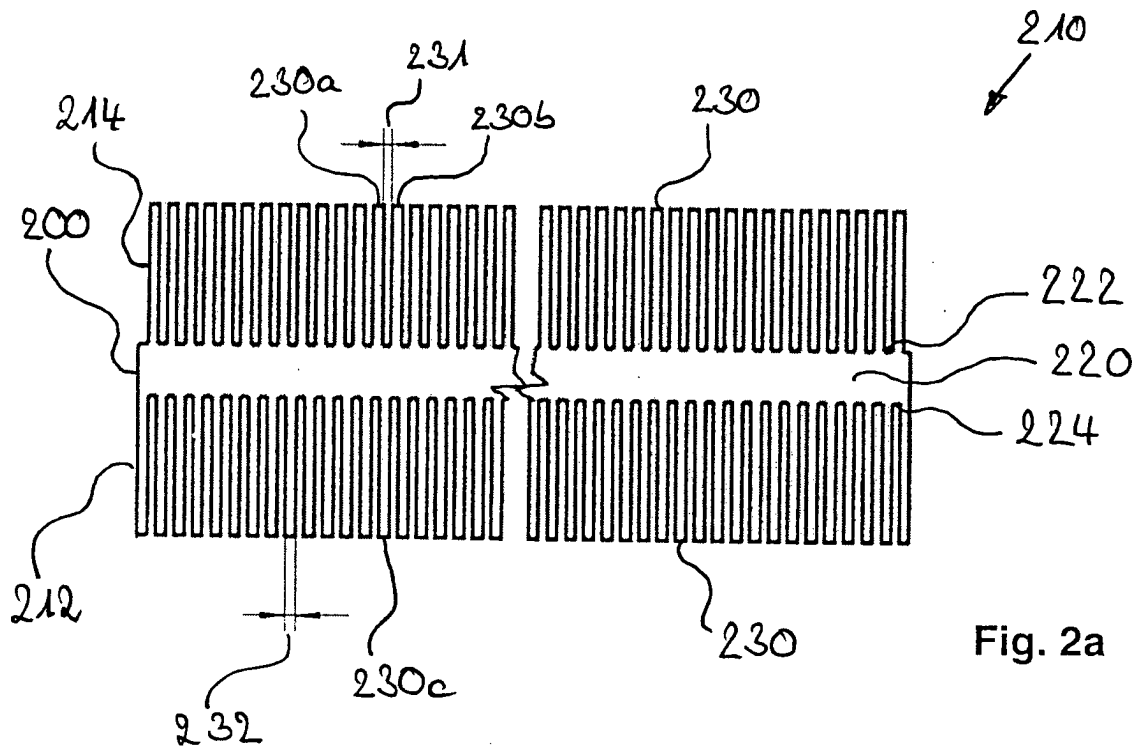


Fig. 2a

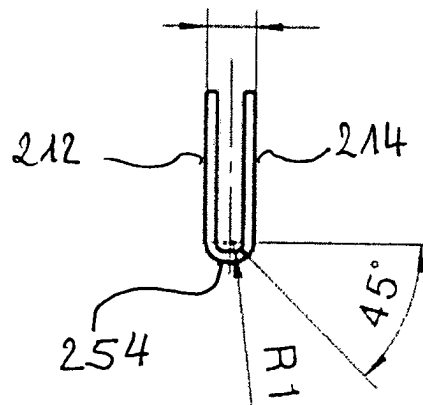


Fig. 2b

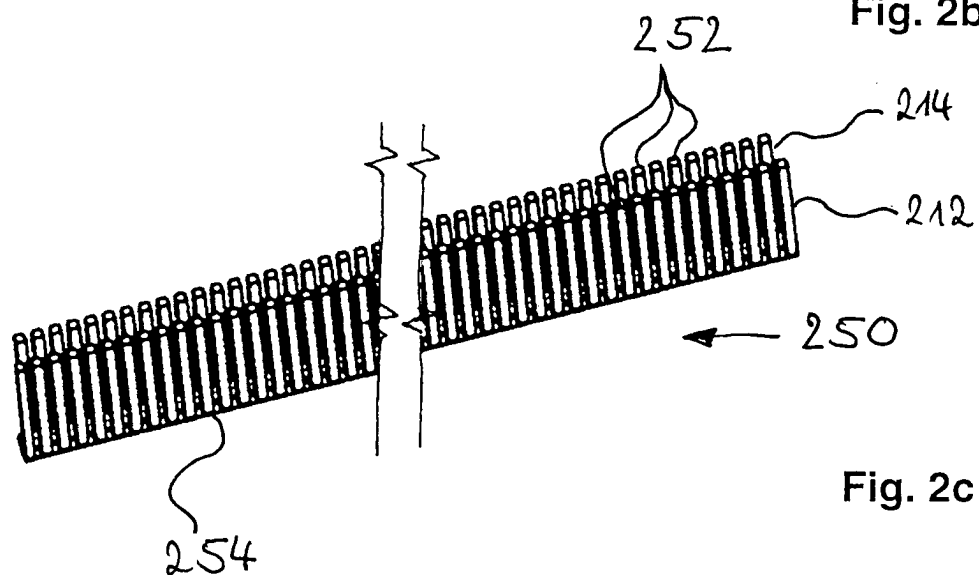


Fig. 2c