

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2022 (29.12.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/268502 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H05K 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/065491

(22) Internationales Anmeldedatum:
08. Juni 2022 (08.06.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 116 262.9
23. Juni 2021 (23.06.2021) DE

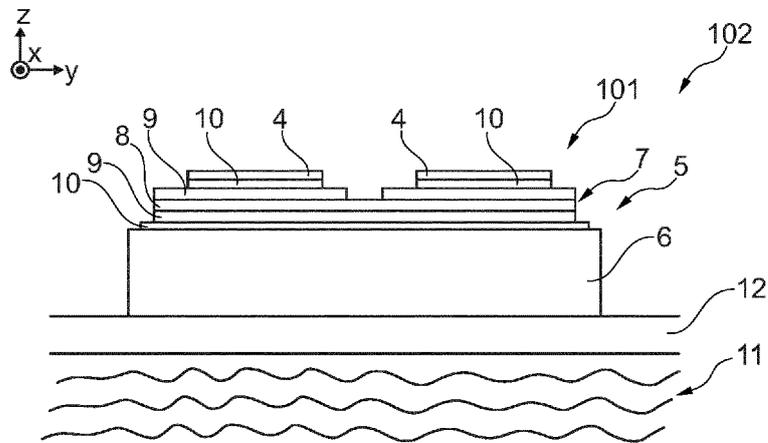
(71) Anmelder: BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Petuelring 130, 80809 München (DE).

(72) Erfinder: ZIMMERMANN, Sascha; Korbinianstraße 40, 80807 München (DE). DREILING, Robert; Burgmairstr. 49, 80686 München (DE). SCHREIVOGEL, Peter; Seydlitzstr. 51, 80993 München (DE). NGUYEN-XUAN, Thinh; Rauschbergweg 1 e, 85435 Erding (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: BILATERAL COOLING OF POWER ELECTRONICS ASSEMBLIES

(54) Bezeichnung: BEIDSEITIGE KÜHLUNG VON LEISTUNGSELEKTRONIKBAUGRUPPEN



AA Stand der Technik
Fig. 1

AA Prior art

(57) Abstract: The invention relates to a power electronics module comprising at least one power electronics assembly which comprises a support structure and at least one power electronics component, a cooling device for cooling the power electronics assemblies, with a heat sink for taking heat away from the power electronics components from a heat sink side of the first support structure, and at least one pulsating heat pipe for transporting heat from the power electronics components to the heat sink, wherein a heat absorption region of the pulsating heat pipe is arranged on a side of the power electronics assembly remote from the heat sink.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Leistungselektronikmodul, aufweisend wenigstens eine leistungselektronische Baugruppe, welche eine Trägerstruktur und wenigstens ein leistungselektronisches Bauelement aufweisen, eine Kühleinrichtung zum Kühlen der leistungselektronischen Baugruppen, mit einem Kühlkörper zum Abtransportieren einer Wärme der leistungselektronischen Bauelemente von einer Kühlkörperseite der ersten Trägerstruktur, und zumindest einem pulsierenden Wärmerohr zum Transportieren einer Wärme der leistungselektronischen Bauelemente an den Kühlkörper, wobei ein Wärmeaufnahmebereich des pulsierenden Wär-



WO 2022/268502 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

merohrs an einer Kühlkörperfernen Seite der leistungselektronischen Baugruppe angeordnet ist.

5

Beidseitige Kühlung von Leistungselektronikbaugruppen

Die Erfindung betrifft ein Leistungselektronikmodul mit wenigstens einer leistungselektronischen Baugruppe und einer Kühleinrichtung zum Kühlen der leistungselektronischen Baugruppen. Die Erfindung betrifft auch eine Fahrzeugkomponente mit wenigstens einem solchen Leistungselektronikmodul sowie ein Kraftfahrzeug mit einer solchen Fahrzeugkomponente.

Vorliegend richtet sich das Interesse auf Leistungselektronikmodule, welche beispielsweise für Stromrichter elektrifizierter Kraftfahrzeuge, also Elektro- oder Hybridfahrzeuge, verwendet werden können. Die Leistungselektronikmodule weisen üblicherweise leistungselektronische Baugruppen mit zumindest einem leistungselektronischen Bauelement, beispielsweise einem Leistungshalbleiterschalter, auf. Die leistungselektronischen Bauelemente können beispielsweise in Form von Halbleiterchips vorliegen, welche auf einem Träger angeordnet sind. Im Betrieb des Leistungselektronikmoduls entsteht an den leistungselektronischen Bauelementen Wärme, durch welche das Leistungselektronikmodul überhitzen kann. Zum Kühlen der leistungselektronischen Bauelemente können die leistungselektronischen Baugruppen mit einer Kühleinrichtung versehen werden, sodass ein Wärmeleitpfad von dem leistungselektronischen Bauelement hin zu einer Wärmesenke, insbesondere einer Kühlmittelführung, im Kraftfahrzeug gebildet wird. Der dabei resultierende Temperaturgradient und damit die Kühleffizienz werden durch die

- 2 -

Wärmeleitfähigkeiten sowie Geometrien der beteiligten Materialschichten und Arbeitsmedien charakterisiert; sowie von den thermischen Kontaktwiderständen zwischen den einzelnen Schichten bzw. Fluiden. Die erreichbare Kühleffizienz begrenzt dabei einen Betriebsbereich der leistungselektronischen Bauelemente, beispielsweise eine Schaltfrequenz oder Leistung der Leistungshalbleiterschalter, sowie eine Miniaturisierung der leistungselektronischen Bauelemente.

Die WO 2020/158324 A1 schlägt vor, die Kühlung mit einem pulsierenden Wärmerohr auszubilden. Die gezeigte Konfiguration ermöglicht aber nur eine sehr begrenzte Wärmespreizung und daher keine ausreichend effiziente Kühlung. Zudem wird eine große Flächenerstreckung der zu kühlenden Leistungselektronikbaugruppen senkrecht zu einer Aufbaurichtung benötigt, um auch bei einer höheren Last ausreichend Wärme abführen zu können.

Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Lösung bereitzustellen, mit welcher leistungselektronische Bauelemente eines Leistungselektronikmoduls besser gekühlt werden können.

Jeder der unabhängigen und nebengeordneten Ansprüche bestimmt mit seinen Merkmalen einen Gegenstand, der diese Aufgabe löst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Gemäß einem Aspekt wird offenbart ein Leistungselektronikmodul, aufweisend:

(a) wenigstens eine, insbesondere mehrere, leistungselektronische Baugruppen, welche jeweils und/oder zumindest teilweise gemeinsam eine erste Trägerstruktur und zumindest ein darauf angeordnetes und damit thermisch gekoppeltes leistungselektronisches Bauelement aufweisen.

(b) eine Kühleinrichtung zum Kühlen der leistungselektronischen Baugruppen, mit:

(b1) einem Kühlkörper zum Abtransportieren einer Wärme (insbesondere einer unteren Abwärme) der leistungselektronischen Bauelemente von einer Kühlkörperseite der ersten Trägerstruktur. Dazu ist insbesondere der Kühlkörper

- 3 -

an einer Kühlkörperseite der leistungselektronischen Baugruppe angeordnet und/oder mit der ersten Trägerstruktur thermisch gekoppelt, und

(b2) zumindest einem pulsierenden Wärmerohr mit wenigstens einem Kapillargefäß und einem Arbeitsmedium zum Transportieren einer Wärme (insbesondere einer oberen Abwärme) der leistungselektronischen Bauelemente an den Kühlkörper.

Ein Wärmeaufnahmebereich des pulsierenden Wärmerohrs ist an einer Kühlkörperfernen Seite der leistungselektronischen Baugruppe angeordnet. Sprich: der Wärmeaufnahmebereich des pulsierenden Wärmerohres ist auf einer Seite der leistungselektronischen Bauelemente angeordnet, der Kühlkörper der Kühleinrichtung auf der anderen, insbesondere in Bezug auf eine Anordnung entlang einer Aufbauachse der leistungselektronischen Baugruppe/n.

Damit ergänzt ein pulsierendes Wärmerohr an der Oberseite, hier also der Kühlkörperfernen Seite der elektronischen Baugruppen die Kühleinrichtung um eine Wärmeableitung von einer zweiten Seite her hin zu einem ansonsten herkömmlich ausgebildeten Kühlkörper, der ohnehin die Abwärme von einer ersten Seite der leistungselektronischen Bauelemente aufnimmt. Das gesteigerte Kühlungspotenzial und die damit einhergehenden verringerten Temperaturniveaus bieten nun die Möglichkeit einer Effizienzsteigerung und ein enormes Einsparpotenzial an Halbleiter-Fläche.

Insbesondere weist das pulsierende Wärmerohr ein Kapillargefäß auf, in dem ein Arbeitsmedium zum Transportieren der Wärme der leistungselektronischen Bauelemente an die Wärmesenke aufgenommen ist. Das Kapillargefäß weist insbesondere eine oder vorzugsweise mehrere Windungen auf, von welchen jede einen, thermisch mit einer leistungselektronischen Baugruppe gekoppelten Verdampfungsbereich zum Aufnehmen der Wärme und einen, thermisch mit der Wärmesenke gekoppelten Kondensierbereich zum Abgeben der Wärme, insbesondere an den Kühlkörper, aufweist. Dabei liegt das in dem Kapillargefäß angeordnete Arbeitsmedium insbesondere in Flüssiggebieten und Dampfgebieten vor, welche durch die Wärme dazu anregbar sind, zum Wärmetransport zwischen dem Verdampfungsbereich und dem Kondensierbereich der jeweiligen Win-

- 4 -

dung zu pulsieren beziehungsweise zu oszillieren. Die Verdampfungsbereiche sind insbesondere in dem Wärmeaufnahmebereich des Wärmerohrs angeordnet, die Kondensierbereiche insbesondere in dem Wärmeabgabebereich des Wärmerohrs.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt wird offenbart eine Fahrzeugkomponente mit einem Gehäuse und zumindest einem Leistungselektronikmodul nach einer Ausführung der Erfindung, wobei das Gehäuse den Kühlkörper des zumindest einen Leistungselektronikmoduls ausbildet. Gemäß einer Ausführung ist die Fahrzeugkomponente als eine elektrische Maschine ausgebildet.

10 Gemäß einem weiteren Aspekt wird offenbart ein Kraftfahrzeug mit zumindest einer Fahrzeugkomponente nach einer Ausführung der Erfindung.

Der Erfindung liegt unter anderem die Überlegung zugrunde, dass das in Fig. 1 gezeigte, weit verbreitete und damit bekannte Kühlprinzip von Leistungshalbleitern in heutigen Automotive-Traktionsinvertern Effizienzgrenzen unterworfen ist. Die im Halbleiter erzeugte Verlustwärme wird dabei über Festkörperwärmeleitung bis zu einem als Kühlflüssigkeit
15 ausgebildeten Kühlmittel transportiert, das in einem Kühlkörper fließt. Der dabei resultierende Temperaturgradient wird durch die Wärmestromdichte, die Wärmeleitfähigkeiten der beteiligten Materialschichten und ggf. durch den jeweiligen thermischen Kontaktwiderstand zwischen diesen charakterisiert.

20 Üblicherweise befindet sich der Halbleiter auf einem DCB-Substrat, welches aus einer Kupferschicht (elektrische Kontaktierung), Keramik (elektrische Isolation) und einer weiteren Kupferschicht besteht. Zur thermischen Anbindung wird dieses Substrat z.B. mithilfe eines Lots oder eines Gap-Filler-Materials auf einen als Kühlplatte ausgebildeten Kühlkörper aufgebracht, der andererseits von dem Kühlmittel angeströmt wird und damit Wärme von dem Kühlkörper abtransportieren kann.

25 Die Erfindung basiert nun unter anderem auf der Idee, ein pulsierendes Wärmerohr an der Oberseite (sprich einer dem Kühlkörper abgewandten Seite) der zu kühlenden Halbleiterchips oder anderen leistungselektronischen Bauelemente anzubringen und darüber die Abwärme aus dem Betrieb beidseitig an das Kühlmittel abgeben zu können, insbe-

sondere auch über den Kühlkörper, der gemäß einer Ausführung im Wesentlichen unverändert gegenüber einseitigen Kühllösungen bleiben kann. Das pulsierende Wärmerohr wird auch als Pulsating oder Oscillating Heat Pipe bezeichnet und besteht gemäß einer Ausführung aus einem speziell geformten Kanal, der einen kapillaren Durchmesser
5 im Mikro- bis Millimeterbereich aufweisen kann. Dieser Kanal ist mit einem Kühlmedium im Zweiphasengebiet gefüllt, das daher dampfförmig (Dampfblasen) und flüssig vorliegt. In dem Wärmerohr wird der Druck lokal durch Wärmequellen, aufgrund von Verdampfung und Erwärmung, erhöht. Wärmesenken führen zur lokalen Kondensation und damit zum Druckabfall. Aufgrund der Druckunterschiede strömt/pulsiert das Arbeitsfluid ohne
10 externe Pumpe und transportiert so Wärme. Ein pulsierendes Wärmerohr zeichnet sich somit durch eine im Vergleich zu einfachen metallischen Wärmeleitern sehr hohe effektive Wärmeleitfähigkeit aus.

Gemäß unterschiedlichen Ausführungen sind unterschiedliche Geometrien und Anbindungsstrategien für das pulsierende Wärmerohr am Kühlkörper vorgesehen: beispielsweise mittelbar über einen Kühldom oder unmittelbar direkt durch eine S-förmige Geometrie, die eine Anbindung an die Kühlplatte ohne zusätzlichen Kühldom ermöglicht.
15

Eine besonders interessante Integration stellt gemäß einer Ausführung die thermische Anbindung der Oberseite des Leistungselektronikmoduls an die Kühlkörper-Rückseite dar. Diese Fläche bleibt bei bekannten Lösungen thermisch ungenutzt, obwohl die Kühlmittelströmung hier ebenfalls ein signifikantes Kühlpotenzial anbietet. Pulsierende Wärmerohre ermöglichen diese neuartige Integration, da aufgrund der passiven Zweiphasenströmung die Limitationen von Wärmeleitung in Festkörpern umgangen werden. Simulative Abschätzungen zeigen hierzu vielfache effektive Wärmeleitfähigkeiten im Vergleich zu klassischen Wärmeleitern aus Vollmaterial, und damit einhergehend die Möglichkeit einer Effizienzsteigerung und ein enormes Einsparpotenzial an Halbleiter-Fläche.
20
25

Zum Kühlen der leistungselektronischen Bauelemente ist die Kühleinrichtung vorgesehen. Die Kühleinrichtung weist den Kühlkörper auf, welcher insbesondere von einem Kühlmittel durchströmt wird. Der Kühlkörper kann beispielsweise als eine von Kühlmittel durchströmte Kühlplatte oder als ein von Kühlmittel durchströmtes Gehäuseteil der Fahrzeugkomponente ausgebildet sein. Zur Steigerung der Kühleffizienz weist die Kühlein-
30

richtung außerdem das zumindest eine pulsierende Wärmerohr, eine sogenannte Pulsating Heat Pipe (PHP), auf, welche dazu ausgelegt ist, die Wärme der Bauelemente zu dem Kühlkörper zu transportieren. Das zumindest eine pulsierende Wärmerohr bildet somit einen Wärmeübertrager zwischen den Baugruppen und dem Kühlkörper. Das pulsierende Wärmerohr weist das zumindest eine Kapillargefäß auf. Das Kapillargefäß bildet einen Kanal mit einem kapillaren Durchmesser, beispielsweise im Mikrometerbereich oder Millimeterbereich. Dieser Kanal ist mit einem Arbeitsmedium im Zweiphasengebiet gefüllt, das dampfförmig und flüssig vorliegt. Das Arbeitsmedium weist die durch Dampfblasen gebildeten Dampfgebiete und die durch Flüssigkeitspfropfen gebildeten Flüssiggebiete auf.

In dem Kapillargefäß wird der Druck lokal, an den Verdampfungsbereichen, durch die leistungselektronischen Baugruppen, welche Wärmequellen ausbilden, aufgrund von Verdampfung und Erwärmung erhöht. Wärmesenken, welche durch den Kühlkörper ausgebildet sind, führen lokal, an den Kondensierbereichen, zur Kondensation und damit zum Druckabfall. Aufgrund der Druckunterschiede wird das Arbeitsmedium zum Pulsieren angeregt und strömt somit ohne externe Pumpe in dem Kapillargefäß. Dabei transportiert das Arbeitsmedium die Wärme der leistungselektronischen Baugruppen zu dem Kühlkörper. Eine solches pulsierendes Wärmerohr zeichnet sich durch eine hohe effektive Wärmeleitfähigkeit aus und weist eine hohe mechanische Belastbarkeit auf. Darüber hinaus benötigt eine solches pulsierendes Wärmerohr nur einen geringen Bauraum und kann kostengünstig hergestellt werden.

Es erweist sich als vorteilhaft, wenn das Leistungselektronikmodul eine Trägerstruktur zum Halten der leistungselektronischen Baugruppen aufweist. Die leistungselektronischen Bauelemente der leistungselektronischen Baugruppen sind auf der Trägerstruktur befestigt und dort elektrisch kontaktiert. Beispielsweise können die als Halbleiterchips ausgestalteten Bauelemente mittels Chipbonding an der Trägerstruktur, beispielsweise einer Leiterplatte, befestigt sein.

Die Trägerstruktur weist dabei insbesondere ein DCB-Substrat (DCB-Direct Copper Bonded) auf. Die beidseitige Kupferbeschichtung des DCB-Substrats verhindert eine wärmebedingte Biegung des DCB-Substrats aufgrund von unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Materialschichten. Das DCB-

- 7 -

Substrat kann beispielsweise auf einer Basisplatte der Trägerstruktur oder dem Kühlkörper befestigt sein.

Eine erste, untere Trägerstruktur weist insbesondere eine plattenförmige Keramikschicht auf, an welcher beidseitig eine Kupferschicht angeordnet ist, wobei die Bauelemente durch Löten an der Kupferschichten befestigt sind, und dient gemäß einer Ausführung einer Anbindung einer Kühlkörperseite der leistungselektronischen Bauelemente an den Kühlkörper.

Eine zweite, obere Trägerstruktur kann analog dazu ausgebildet sein und gemäß einer Ausführung einer Anbindung einer Kühlkörper-fernen Seite der leistungselektronischen Bauelemente an den Wärmeaufnahmebereich des pulsierenden Wärmerohrs dienen.

Gemäß einer Ausführung weisen die leistungselektronischen Baugruppen auf der Kühlkörper-fernen Seite der leistungselektronischen Bauelemente eine zweite Trägerstruktur auf, die mit den leistungselektronischen Bauelementen und mit dem Wärmeaufnahmebereich des pulsierenden Wärmerohrs thermisch gekoppelt ist. Mittels der zweiten Trägerstruktur ist es möglich, neben der Kühlkörperseite der leistungselektronischen Baugruppe auch deren Kühlkörper-ferne Seite aktiv zu kühlen, insbesondere durch den Einsatz eines pulsierenden Wärmerohrs zur Überbrückung der längeren, nötigen Wärmetransportstrecke.

Gemäß einer Ausführung ist ein Wärmeabgabebereich des pulsierenden Wärmerohrs abseits der ersten Trägerstruktur, insbesondere abseits eines thermischen Kopplungsbereichs der ersten Trägerstruktur mit dem Kühlkörper, an dem Kühlkörper angeordnet, insbesondere thermisch mit diesem unmittelbar oder mittelbar gekoppelt. Dadurch können mit einer einfachen Kühlmittelstrecke durch den Kühlkörper beide Seiten des Leistungselektronikmoduls und/oder der leistungselektronischen Baugruppe aktiv gekühlt werden – noch dazu ohne wesentliche Veränderung von Kühlstrecken, wie sie ohnehin bereits zur Leistungselektronik-Kühlung in bekannten Kraftfahrzeugen eingesetzt werden, die ohne pulsierende Wärmerohre betrieben werden.

Gemäß einer Ausführung sind der Wärmeabgabebereich des pulsierenden Wärmerohrs und die erste Trägerstruktur auf einer Baugruppen-zugewandten Seite des Kühlkörpers

angeordnet und/oder hinsichtlich einer Aufbauachse zwischen einem Kühlmittelstrom und den leistungselektronischen Baugruppen miteinander thermisch gekoppelt. Damit kann eine ansonsten weitgehend unveränderte Ausbildung des Kühlkörpers erreicht werden – verglichen mit bekannten Lösungen zur Kühlung von Kraftfahrzeugantriebs-
5 Leistungselektronik mittels eines Kühlmittel-gekühlten Kühlkörpers.

Gemäß einer Ausführung ist die thermische Kopplung des Wärmeabgabebereichs des pulsierenden Wärmerohrs mit dem Kühlkörper abseits der ersten Trägerstruktur mittelbar durch einen Kühldom hindurch ausgebildet, der insbesondere thermisch mit dem Wärmeabgabebereich und mit dem Kühlkörper gekoppelt ist. Dadurch kann ein
10 einfach ausgebildetes, flach bauendes pulsierendes Wärmerohr eingesetzt werden.

Gemäß einer Ausführung ist die thermische Kopplung des Wärmeabgabebereichs des pulsierenden Wärmerohrs mit dem Kühlkörper abseits der ersten Trägerstruktur unmittelbar ausgebildet, wobei das Wärmerohr dazu ausgebildet ist, die Erstreckung der
15 mehrere leistungselektronischen Baugruppen entlang einer Aufbauachse auf dem Kühlkörper auszugleichen, insbesondere mittels einer gebogenen und oder gestuften Gestaltung zwischen dem Wärmeaufnahmebereich und dem Wärmeabgabebereich. Damit kann eine fehlerrobuste Lösung mit wenigen Bauteilen – und daher einer geringeren Versagenswahrscheinlichkeit – umgesetzt werden.

Gemäß einer Ausführung ist die erste Trägerstruktur auf einer Baugruppen-
20 zugewandten Seite und der Wärmeabgabebereich des pulsierenden Wärmerohrs auf einer Baugruppen-abgewandten Seite des Kühlkörpers angeordnet, insbesondere mit diesem gekoppelt, und/oder der Kühlmittelstrom ist in dem Kühlkörper hinsichtlich einer Aufbauachse zwischen der erste Trägerstruktur und dem Wärmeabgabebereich des pulsierenden Wärmerohrs angeordnet.

25 Damit lässt sich eine besonders interessante passive Integration der thermischen Anbindung der Kühlkörper-fernen, hier der Oberseite, der leistungselektronischen Baugruppen, an die Kühlkörper-Rückseite darstellen. Diese Fläche bleibt bei den bekannten Lösungen thermisch ungenutzt, obwohl die Kühlmittelströmung hier ebenfalls ein signifikantes Kühlpotenzial anbietet. Das gesteigerte Kühlpotenzial und die damit einher-

gehenden verringerten Temperaturniveaus bieten nun die Möglichkeit einer Effizienzsteigerung und ein enormes Einsparpotenzial an Halbleiter-Fläche. Auf gleiche Weise können auch anderen ungenutzte Kühlpotenziale wie etwa im Gehäuse mithilfe des Wärmerohrs erschlossen werden.

- 5 Gemäß einer Ausführung ist das pulsierende Wärmerohr teilweise oder ganz mit einer massiven Wärmerohrplatte ausgebildet, in welche ein Teil oder die Gesamtheit von Windungen des Kapillargefäßes als Ausnehmungen eingebracht sind, wobei insbesondere ein geschlossener Querschnitt der Windungen durch einen bezüglich des Arbeitsmediums dicht aufgesetzten Plattendeckel erreicht ist. Nötigenfalls kann dazu ein
10 zusätzliches Dichtelement eingesetzt werden.

Eine solche Wärmerohrplatte kann auf einfache Weise gut mit der Grundfläche der Trägerstruktur der zu kühlenden leistungselektronischen Baugruppe und dem Kühlkörper verbunden werden.

- Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der
15 nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren:

- Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittdarstellung einer leistungselektronischen Baugruppe für ein bekanntes Leistungselektronikmodul.
- Fig. 2 zeigt eine schematische Schnittdarstellung einer leistungselektronischen Baugruppe für ein Leistungselektronikmodul nach einer Ausführung der Er-
20 findung.
- Fig. 3 zeigt ein Leistungselektronikmodul gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung mit einem Kühldom in einer Schnittansicht.
- Fig. 4 zeigt ein Leistungselektronikmodul gemäß einer anderen beispielhaften Aus-
25 führung der Erfindung mit einem Wärmerohr mit einer gebogenen Kontur in einer Schnittansicht.

Fig. 5 zeigt ein Leistungselektronikmodul gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführung der Erfindung mit einer rückseitigen Anbindung des Wärmerohrs an den Kühlkörper in einer Schnittansicht.

5 In den Figuren sind gleiche sowie funktionsgleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt eine leistungselektronische Baugruppe 101 für ein Leistungselektronikmodul 202, das auf bekannte Weise einseitig auf einer Kühlkörperseite A mittels eines Kühlkörpers 12 gekühlt wird, der die aufgenommene Wärme an ein Kühlmittel 11 weitergeben
10 kann. Das Leistungselektronikmodul 2 kann in eine Fahrzeugkomponente für ein Kraftfahrzeug integriert werden.

Die leistungselektronische Baugruppe 1 weist hier mehrere leistungselektronische Bauelemente 4 auf, welche als Halbleiterchips ausgebildet sind. Die Bauelemente 4 sind auf einer ersten Trägerstruktur 5 angeordnet. Die Trägerstruktur 5 weist hier eine Basisplatte
15 6 und ein Substrat 7 auf. Das Substrat 7 weist eine plattenförmige Keramikschicht 8 auf, welche beidseitig mit einer Kupferschicht 9 beschichtet ist. Zum Befestigen des Substrates 7 an der Basisplatte 6 sowie der leistungselektronischen Bauelemente 4 an dem Substrat 7 ist eine Verbindungsschicht 10, beispielsweise eine Löt-
20 schicht, zwischen der jeweiligen Kupferschicht 9 und der Basisplatte 6 bzw. den leistungselektronischen Bauelementen 4 angeordnet. Die Basisplatte 6 ist thermisch mit dem Kühlkörper 12 gekoppelt.

Fig. 2 zeigt nun eine leistungselektronische Baugruppe 1 für ein Leistungselektronikmodul 2 nach einer beispielhaften Ausführung der Erfindung, deren Betriebsabwärme aufgrund eines zusätzlich verwendeten pulsierenden Wärmerohrs 20 beiderseits – also
25 auch auf einer dem Kühlkörper abgewandten Seite B – abgeführt werden kann.

Dazu weist die leistungselektronische Baugruppe 1 zusätzlich zu einer ersten Trägerstruktur 5 auf der Kühlkörperseite A auch eine zweite Trägerstruktur 15 zum Halten der leistungselektronischen Bauelemente 4 auf der Kühlkörperfernen Seite B aufweist.

Die zweite Trägerstruktur 15 kann anwendungsspezifisch aufgebaut sein und weist hier eine Kupferschicht 9 und eine Keramikschicht 8 auf, sodass die zweite Trägerstruktur 15 thermisch mit einem Wärmeaufnahmebereich 22 des zusätzlich verbauten, pulsierenden Wärmerohrs gekoppelt werden kann.

5 Fig. 3 zeigt ein Leistungselektronikmodul 302 gemäß einer beispielhaften Ausführung der Erfindung mit wenigstens einer leistungselektronischen Baugruppe 1, die an der Kühlkörperseite A mit dem Kühlkörper 12 und an der gegenüberliegenden Kühlkörper-

fernen Seite B mit dem Wärmeaufnahmebereich 22 des pulsierenden Wärmerohrs 320 gekoppelt werden kann.

10 Das Wärmerohr 320 ist gerade, das heißt in einer Ebene, ausgebildet; ebenso der Kühlkörper. Daher wird der Abstand (in Aufbaurichtung z) zwischen der thermischen Kopplung der zweiten Trägerstruktur 15 der Baugruppe 1 mit dem Wärmeaufnahmebereich 22 einerseits und andererseits der thermischen Kopplung zwischen der ersten Trägerstruktur 5 mit dem Kühlkörper 12 mittels eines entsprechend dimensionierten Kühl-

15 doms 19 überwunden.

Der Kühldom 19 ist mit einem Wärmeabgabebereich 24 und mit dem Kühlkörper 12 thermisch gekoppelt und kann so die Kühlkörper-ferne Abwärme der Bauelemente 4 an den Kühlkörper abgeben.

Fig. 4 zeigt ein Leistungselektronikmodul 402 gemäß einer anderen beispielhaften Ausführung der Erfindung mit wenigstens einer leistungselektronischen Baugruppe 1 und mit einem Wärmerohr 420, das eine gebogene Kontur 18 aufweist, um den Kühldom 19 der Ausführung gemäß Figur 3 weglassen zu können. Der leicht komplizierteren Herstellung des Wärmerohrs 420 steht vorteilhaft die Gewichts- und Bauteileinsparung sowie ein optimierter thermischer Gesamtwiderstand (thermischer Widerstand des Kühldoms entfällt) durch den Verzicht auf den Kühldom 19 gegenüber.

20

25

Fig. 5 zeigt ein Leistungselektronikmodul 502 gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführung der Erfindung mit einer Anbindung des Wärmerohrs 520 an den Kühlkörper 12 auf einer von den leistungselektronischen Bauelementen 4 abgewandten Rückseite D des Kühlkörpers 12. Möglich wird dies mittels einer Umbiegung 17 des Wärmerohrs 520,

- 12 -

sodass dessen Wärmeaufnahmebereich 22 an der Kühlkörper-fernen Seite B der Baugruppe 1 und dessen Wärmeabgabebereich 24 an der Rückseite D angeordnet sein kann.

5 An der Vorderseite C des Kühlkörpers ist dann nur mehr die Kühlkörperseite A und damit die erste Trägerstruktur 5 an den Kühlkörper 12 angebunden.

Dadurch ergibt sich die Möglichkeit einer enormen Bauraumeinsparung – insbesondere in einer Richtung y senkrecht zu der Aufbaurichtung z der leistungselektronischen Baugruppe1.

10 Anders als bei den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 3 oder Fig. 4 muss hier kein großer Platz in y-Richtung neben der leistungselektronischen Baugruppe 1 vorgesehen sein. Die für die Umbiegung 17 benötigte y-Erstreckung reicht aus und vielfach kleiner als beispielsweise die Y-Erstreckung der Kühlom-Anbindung gemäß Fig. 3.

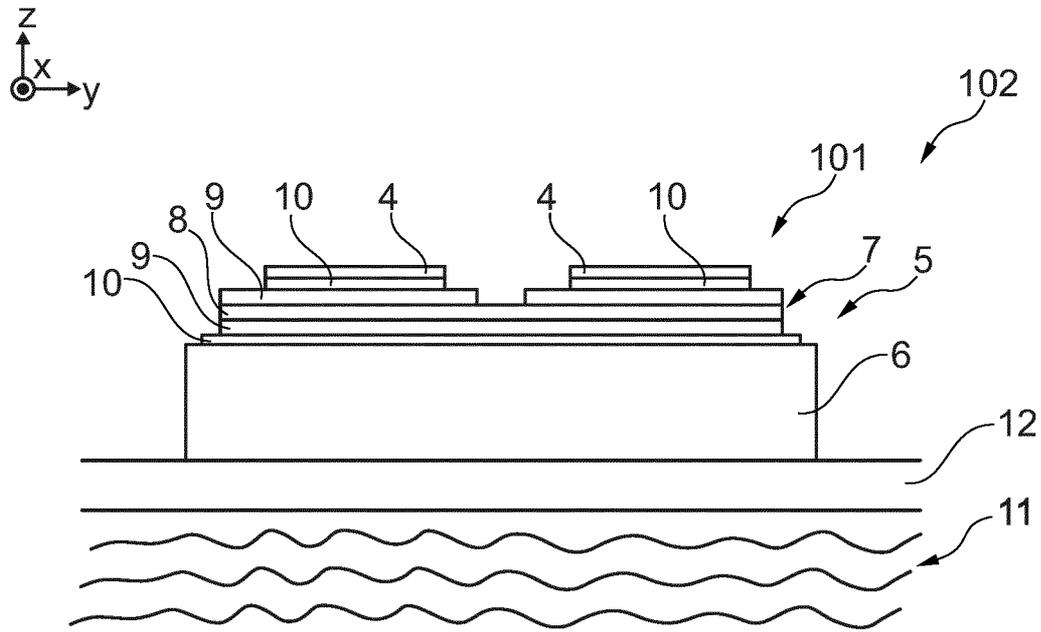
ANSPRÜCHE

1. Leistungselektronikmodul (2, 302, 402, 502), aufweisend:
 - wenigstens eine leistungselektronische Baugruppe (1), welche eine erste Trägerstruktur (5) und wenigstens ein leistungselektronisches Bauelement (4) aufweist,
 - eine Kühleinrichtung (13, 313, 413, 513) zum Kühlen der leistungselektronischen Baugruppen (1), mit einem Kühlkörper (12) zum Abtransportieren einer Wärme der leistungselektronischen Bauelemente (4) von einer Kühlkörperseite der ersten Trägerstruktur (5), und mit zumindest einem pulsierenden Wärmerohr (20, 320, 420, 520) zum Transportieren einer Wärme der leistungselektronischen Bauelemente (4) an den Kühlkörper (12),dadurch gekennzeichnet, dass ein Wärmeaufnahmebereich (22) des pulsierenden Wärmerohrs an einer Kühlkörperfernen Seite (B) der leistungselektronischen Baugruppe angeordnet ist.
2. Leistungselektronikmodul (2, 302, 402, 502) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die leistungselektronischen Baugruppe (1) auf der Kühlkörperfernen Seite (B) der leistungselektronischen Bauelement (4) eine zweite Trägerstruktur (15) aufweist, die mit den leistungselektronischen Bauelementen und mit dem Wärmeaufnahmebereich (22) des pulsierenden Wärmerohrs (20, 320, 420, 520) thermisch gekoppelt ist.
3. Leistungselektronikmodul (2, 302, 402, 502) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wärmeabgabebereich (24) des pulsierenden Wärmerohrs (20, 320, 420, 520) abseits der ersten Trägerstruktur (5) an dem Kühlkörper angeordnet ist.
4. Leistungselektronikmodul (2, 302, 402, 502) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeabgabebereich (24) des pulsierenden Wärmerohrs (20, 320, 420, 520) und die erste Trägerstruktur (5) auf einer Baugruppen-zugewandten Seite des Kühlkörpers angeordnet und/oder zwischen einem Kühlmittelstrom (11) und der wenigstens einen leistungselektronischen Baugruppe (1) miteinander thermisch gekoppelt sind.
5. Leistungselektronikmodul (302) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,

- 14 -

- (24) des pulsierenden Wärmerohrs (320) mit dem Kühlkörper (12) mittelbar durch einen Kühlraum (19) hindurch ausgebildet ist.
6. Leistungselektronikmodul (402) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Kopplung des Wärmeabgabebereichs (24) des pulsierenden Wärmerohrs (420) mit dem Kühlkörper (12) unmittelbar ausgebildet ist, wobei das Wärmerohr dazu ausgebildet ist, die Erstreckung der mehrere leistungselektronischen Baugruppen entlang einer Aufbauachse (z) auf dem Kühlkörper auszugleichen.
 7. Leistungselektronikmodul (502) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die erste Trägerstruktur (5) auf einer Baugruppen-zugewandten Seite (C) des Kühlkörpers (12) und der Wärmeabgabebereich (24) des pulsierenden Wärmerohrs (520) auf einer Baugruppen-abgewandten Seite (D) des Kühlkörpers (12) angeordnet, insbesondere mit diesem thermisch gekoppelt, ist, und/oder
 - der Kühlmittelstrom (11) in dem Kühlkörper (12) zwischen der erste Trägerstruktur (5) und dem Wärmeabgabebereich (24) des pulsierenden Wärmerohrs (520) angeordnet ist.
 8. Leistungselektronikmodul (2, 302, 402, 502) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das pulsierende Wärmerohr (20, 320, 420, 520) teilweise oder ganz mit einer massiven Wärmerohrplatte ausgebildet ist, in welche ein Teil oder die Gesamtheit von Windungen des Kapillargefäßes als Ausnehmungen eingebracht sind.
 9. Fahrzeugkomponente mit einem Gehäuse und zumindest einem Leistungselektronikmodul (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gehäuse den Kühlkörper (12) des zumindest einen Leistungselektronikmoduls (2) ausbildet.
 10. Fahrzeugkomponente nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeugkomponente als eine elektrische Maschine ausgebildet ist.

11. Kraftfahrzeug mit zumindest einer Fahrzeugkomponente nach Anspruch 9 oder 10.



Stand der Technik
Fig. 1

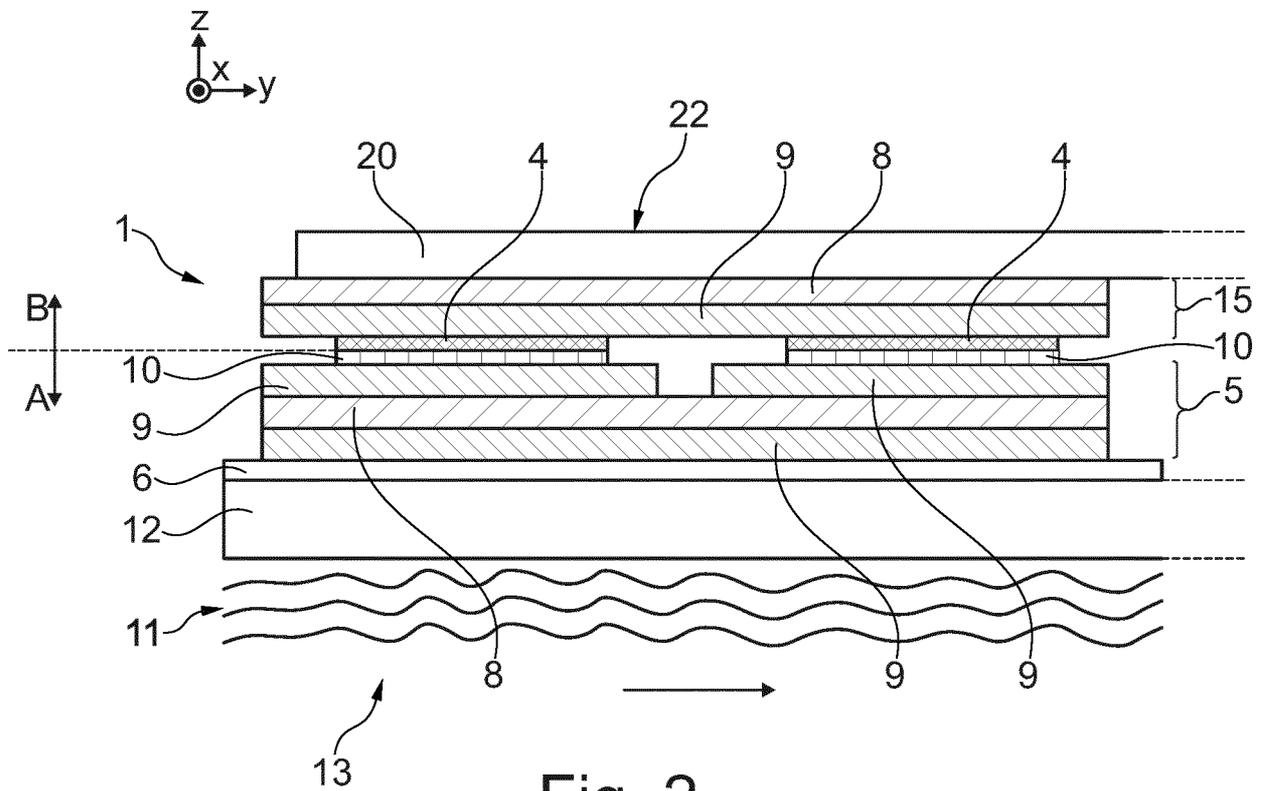


Fig. 2

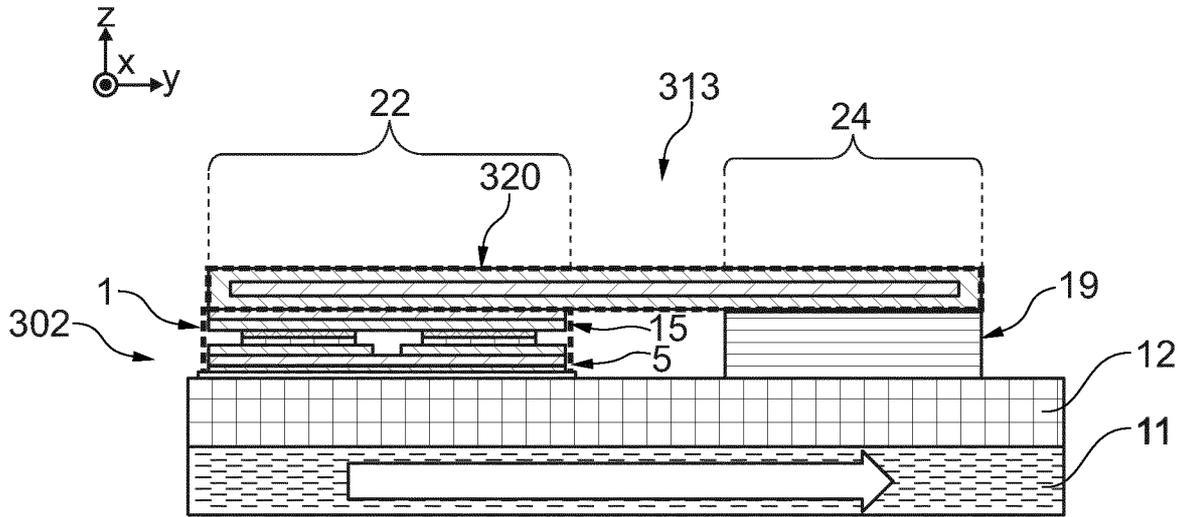


Fig. 3

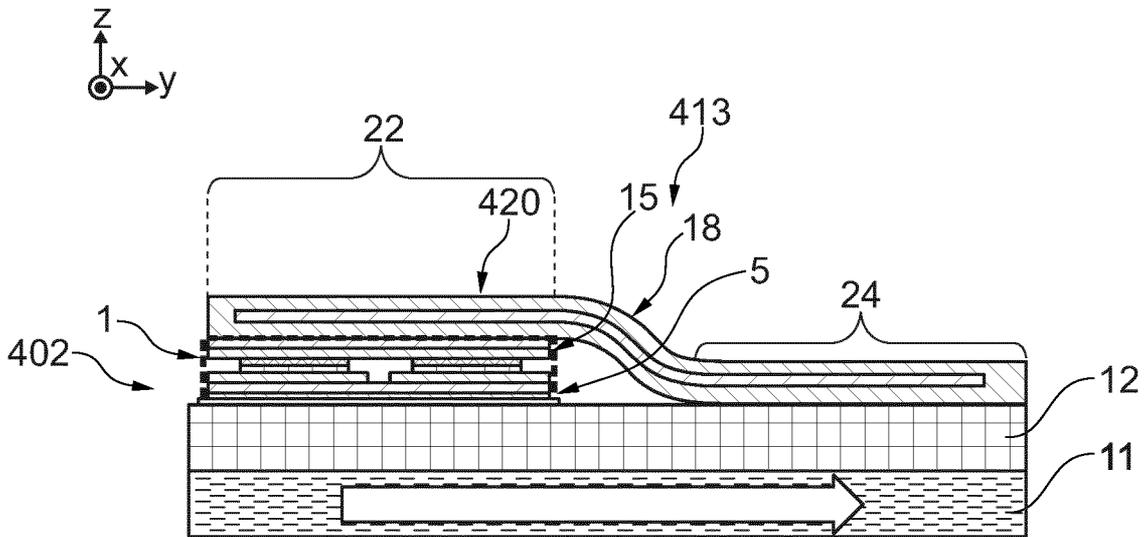


Fig. 4

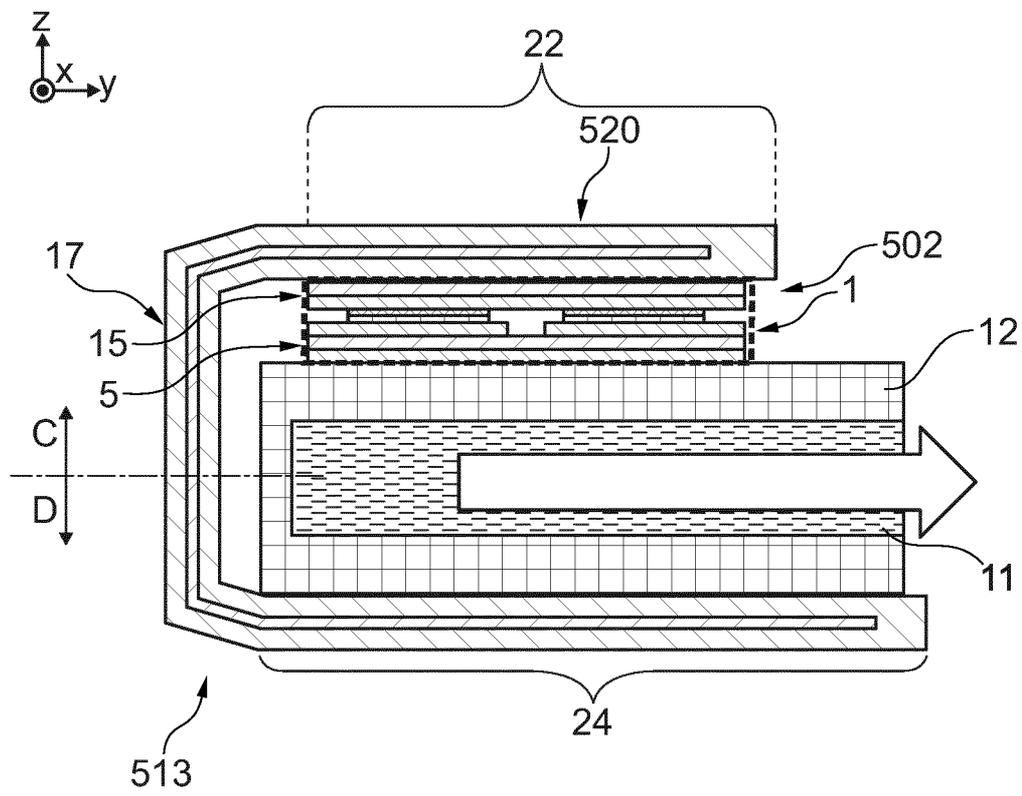


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/065491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H05K 7/20 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H05K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015289411 A1 (KAMIYA YASUNOBU [JP] ET AL) 08 October 2015 (2015-10-08) paragraphs [0044] - [0049]; figure 2	1-3,6-11
X	DE 102019115267 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 10 December 2020 (2020-12-10) paragraphs [0027], [0028]; figures 4,5	1,3,9-11
X	US 2006120039 A1 (YUVAL YASSOUR [IL]) 08 June 2006 (2006-06-08) paragraph [0057]; figure 4	1,3,4,8
X	JP 2006120971 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 11 May 2006 (2006-05-11) paragraph [0019]; figures 2,3	1,3,4,8-11
X	US 2004061138 A1 (SHINOHARA TOSHIAKI [JP] ET AL) 01 April 2004 (2004-04-01) paragraphs [0059], [0060]; figure 5	1,2,5
X	US 2019170457 A1 (ZHAI HAIFANG [CN] ET AL) 06 June 2019 (2019-06-06) claim 1; figures 1,4	1
X	US 2019223319 A1 (ENGELHARDT MICHEL [US] ET AL) 18 July 2019 (2019-07-18) paragraphs [0026] - [0028]; figures 5,6	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
17 September 2022		05 October 2022
Name and mailing address of the ISA/EP		Authorized officer
European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Krikorian, Olivier Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/065491

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2015289411	A1	08 October 2015	CN	104813576	A	29 July 2015
				DE	112013005692	T5	10 September 2015
				JP	5737275	B2	17 June 2015
				JP	2014108014	A	09 June 2014
				US	2015289411	A1	08 October 2015
				WO	2014083976	A1	05 June 2014
DE	102019115267	A1	10 December 2020	NONE			
US	2006120039	A1	08 June 2006	NONE			
JP	2006120971	A	11 May 2006	NONE			
US	2004061138	A1	01 April 2004	DE	10322745	A1	15 April 2004
				JP	3847691	B2	22 November 2006
				JP	2004119667	A	15 April 2004
				US	2004061138	A1	01 April 2004
US	2019170457	A1	06 June 2019	CN	109727936	A	07 May 2019
				US	2019170457	A1	06 June 2019
				US	2020141669	A1	07 May 2020
US	2019223319	A1	18 July 2019	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. H05K7/20		
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H05K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2015/289411 A1 (KAMIYA YASUNOBU [JP] ET AL) 8. Oktober 2015 (2015-10-08) Absätze [0044] - [0049]; Abbildung 2 -----	1-3, 6-11
X	DE 10 2019 115267 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 10. Dezember 2020 (2020-12-10) Absätze [0027], [0028]; Abbildungen 4, 5 -----	1, 3, 9-11
X	US 2006/120039 A1 (YUVAL YASSOUR [IL]) 8. Juni 2006 (2006-06-08) Absatz [0057]; Abbildung 4 -----	1, 3, 4, 8
X	JP 2006 120971 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 11. Mai 2006 (2006-05-11) Absatz [0019]; Abbildungen 2, 3 -----	1, 3, 4, 8-11
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. September 2022		05/10/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Krikorian, Olivier

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/061138 A1 (SHINOHARA TOSHIAKI [JP] ET AL) 1. April 2004 (2004-04-01) Absätze [0059], [0060]; Abbildung 5 -----	1, 2, 5
X	US 2019/170457 A1 (ZHAI HAIFANG [CN] ET AL) 6. Juni 2019 (2019-06-06) Anspruch 1; Abbildungen 1, 4 -----	1
X	US 2019/223319 A1 (ENGELHARDT MICHEL [US] ET AL) 18. Juli 2019 (2019-07-18) Absätze [0026] - [0028]; Abbildungen 5, 6 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/065491

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015289411 A1	08-10-2015	CN 104813576 A	29-07-2015
		DE 112013005692 T5	10-09-2015
		JP 5737275 B2	17-06-2015
		JP 2014108014 A	09-06-2014
		US 2015289411 A1	08-10-2015
		WO 2014083976 A1	05-06-2014

DE 102019115267 A1	10-12-2020	KEINE	

US 2006120039 A1	08-06-2006	KEINE	

JP 2006120971 A	11-05-2006	KEINE	

US 2004061138 A1	01-04-2004	DE 10322745 A1	15-04-2004
		JP 3847691 B2	22-11-2006
		JP 2004119667 A	15-04-2004
		US 2004061138 A1	01-04-2004

US 2019170457 A1	06-06-2019	CN 109727936 A	07-05-2019
		US 2019170457 A1	06-06-2019
		US 2020141669 A1	07-05-2020

US 2019223319 A1	18-07-2019	KEINE	
