

< Hochintegrierte elektronische Bauteile erzeugen viel Wärme auf kleinem Raum. Pulsierende Heatpipes sind in der Lage, diese Wärme effizient abzuleiten.

Wärme effektiv leiten und schalten

Die Möglichkeit, Temperaturen gezielt und effektiv zu kontrollieren, ist in vielen industriellen Bereichen von großem Interesse. Die Entwärmung auf Basis von Heatpipes ist eine besonders effiziente Möglichkeit für das Thermomanagement hochintegrierter elektronischer Bauteile. Spezielle Wärmeschalter könnten sogar die Effizienz von Antriebsbatterien erhöhen, die Kaltstartzeit von Verbrennungsmotoren verkürzen oder Umformprozesse in der Industrie optimieren. Fraunhofer IPM forscht an einer neuen Generation von Heatpipes und Wärmeschaltern und entwickelt anwendungsspezifische Lösungen für das thermische Management.

Wenn im Computer, Auto oder Flugzeug die Elektronik ausfällt, liegt dies in über der Hälfte der Fälle an Überhitzung. Immer kleinere und leistungsfähigere mikroelektronische Bauteile produzieren thermische Verluste von zum Teil mehr als 100 Watt auf nur einem Quadratzentimeter. Für ein fehlerfreies Funktionieren der Bauteile müssen solche Hotspots effektiv entwärmt werden. Passive Kühlkonzepte wie zum Beispiel Heatpipes (HP) sind dabei besonders geeignet, denn sie kommen – im Gegensatz zu aktiver Wasser- oder Luftkühlung – ohne bewegliche Teile aus und benötigen keine externe Energieversorgung. Die Wärmerohre werden an Bauteile gekoppelt und leiten Wärme über einen Verdampfungs- und Kondensationskreislauf ab.

Planare pulsierende Heatpipes: effektiv, kompakt und stabil

Fraunhofer IPM setzt vor allem auf sogenannte pulsierende Heatpipes (PHP) als besonders effiziente Technologie zur Entwärmung von Hotspots. Anders als konventionelle HP ermöglichen PHP eine besonders kompakte, flache und stabile Bauform bei gleichzeitig hoher Wärmetransportfähigkeit; damit sind sie besonders geeignet für die Elektronik-Kühlung, wo Bauhöhen von weniger als 3 mm gefragt

sind. PHPs zeichnen sich durch eine thermische »Doppelwirkung« aus, denn es werden sowohl sensibler als auch latenter Wärmeübertrag genutzt. In einer PHP liegt das Arbeitsmedium in Gas- und Flüssig-Segmenten in einer Kapillarstruktur vor. Diese Flüssig- und Dampfsegmente werden durch einen Temperaturgradienten zwischen einer Wärmequelle und einer Wärmesenke zum »Pulsen« angeregt, d.h. sie werden impulsartig hin- und hergeschoben. Der daraus resultierende, sich selbst erhaltende Fluidfluss steigert den Wärmetransport drastisch. Eine PHP kann als hoch effektiver Wärmeleiter oder als Wärmespreizer eingesetzt werden. Im Rahmen verschiedener Projekte entwickelten und testeten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler PHPs in verschiedenen Bauformen und aus unterschiedlichen Materialien wie Kupfer oder Glas. Die Arbeiten umfassten auch die nötige Evakuierungs-, Befüll- sowie Aufbau- und Verbindungstechnik, darunter Verfahren wie das »Transient Liquid Phase«-Bonding (TLP-Bonding) sowie weitere Löt- und Schweißtechniken. Mit dem Prototyp einer planaren PHP aus Kupfer erzielte Fraunhofer IPM eine Wärmeleitfähigkeit auf dem Niveau von Diamant. In eine 1,5 bis 2 mm starke Kupferplatte wurden dazu dünne mäanderförmige Strukturen gefräst, die partiell mit Flüssigkeit befüllt und

WÄRMESCHALTER lassen sich als Heatpipes mit integrierten Funktionsmaterialien realisieren. Einer der untersuchten Ansätze basiert auf schaltbaren hydrophilen / hydrophoben Beschichtungen, mit denen die Vorzugsrichtung des Wärmeflusses umgeschaltet werden kann (aktiv schaltbare thermische Diode). Zusätzlich untersucht werden Hydrogele, die unterhalb einer definierten Temperatur das Arbeitsfluid der Heatpipe aufnehmen und »einsperren« und oberhalb der gewünschten Temperatur wieder freigeben, sodass die Heatpipe aktiv wird (temperaturabhängiger Wärmeschalter).

anschließend evakuiert werden. Diese planare PHP kann direkt in Leiterplatten integriert werden und ist im Vergleich zu sogenannten Vapor-Chambers (flache Hohlkammer-Wärmerohre) deutlich stabiler und damit unempfindlicher gegenüber dem Druck beim Verpressen der Leiterplatten. Das Interesse der Industrie an Heatpipe-basierten Kühlkonzepten ist groß. Das Team arbeitet daher mit Hochdruck an Lösungen für eine simulationsgestützte Auslegung, um die komplexen physikalischen Zusammenhänge in der PHP abzubilden. Ziel ist es, Eigenschaften wie Größe, Arbeitsfluid und die Anbindung an die Wärmesenke optimal auf die spezielle Anwendung zuzuschneiden. Auch an alternativen Materialien und Fertigungsverfahren wie 3D-Druck oder Roll-Bonding wird am Institut intensiv geforscht. Dies soll die flexible, formangepasste und kostengünstige Herstellung ermöglichen.

Wärme an- und ausknipsen

Neben der Wärmeabfuhr lassen sich Heatpipes auch nutzen, um Wärmeströme gezielt ein- und auszuschalten und zu regeln – ganz so, wie man es von elektrischen Schaltern kennt. Solche Wärmeschalter könnten aktive Temperiersysteme entlasten oder ersetzen. Sie sind jedoch komplex in der Bauform und übertragen meist nur kleine Wärmeströme. Fraunhofer IPM arbeitet gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Instituten an einer neuen Generation der thermischen Schalter auf Basis



Heatpipes lassen sich nicht nur als Rohr, sondern auch als zwei bis drei Millimeter dünne Platten realisieren. Damit sind sie besonders gut integrierbar zur Kühlung von Elektronikbauteilen.

schaltbarer hydrophiler / hydrophober Beschichtungen oder Hydrogele. Sie sind klein und kommen ohne bewegliche Teile aus. Aufgrund der einfachen Bauweise sind die Schalter ohne großen Aufwand integrierbar und versprechen deutlich höhere Wärmetransportfähigkeiten. Am Institut wurde bereits eine Vorläuferversion des Heatpipe-basierten Wärmeschalters mit konstanter hydrophiler Beschichtung inklusive der nötigen Aufbau-, Verbindungs- und Befülltechnik realisiert.