

Elektrokalorische Systeme

Effizient kühlen und heizen ohne schädliche Kältemittel

Prototyp eines elektrokalorischen Systems: Für eine besonders effiziente Wärmeabfuhr wurden keramische Mehrlagenkomponenten in eine Heatpipe integriert.

Heute am Markt erhältliche Kühlsysteme basieren fast ausschließlich auf Kompressoren. Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien gelten als vielversprechende Alternative zur Kompressor-Technologie. Fraunhofer IPM entwickelt elektrokalorische Kühlsysteme mit einem neuartigen Konzept zum Wärmeübertrag für eine höhere Systemeffizienz und Leistungsdichte.

Kompakt, leise und wartungsarm

Kompressorbasierte Systeme werden seit mehr als hundert Jahren zur Kühlung und Klimatisierung genutzt, haben jedoch einige Nachteile: Kompressoren arbeiten mit Kältemitteln, die umwelt- oder gesundheitsschädlich, mitunter sogar brennbar oder explosiv sind. Die EU schränkt die Verwendung dieser schädlichen Kältemittel daher immer stärker ein. Innovative Kühlkonzepte sind also für viele Anwendungsbereiche dringend gefragt. Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien könnten sich zu einer umweltfreundlichen Alternative im weltweit stetig wachsenden Markt der Kälte- und Wärmetechnik entwickeln. Fraunhofer IPM entwickelt elektrokalorische Kühlsysteme. Ein neuartiges Konzept zum Wärmeübertrag trägt dabei entscheidend zur Effizienz und Erhöhung der Leistungsdichte bzw. spezifischen Kühl- und Wärmeleistung bei.

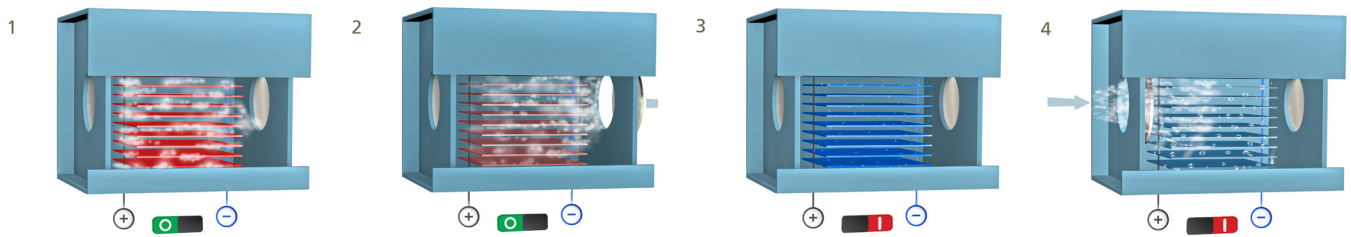
Prinzip des elektrokalorischen Kreislaufs

Elektrokalorische Systeme basieren auf sogenannten elektrokalorischen (EK) Materialien. Diese Keramiken oder Polymere erwärmen sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes und

kühlen ab, sobald das Feld entfernt wird. Auf Basis dieses Effekts lassen sich potenziell sehr energieeffiziente Kühlsysteme und Wärmepumpen realisieren: Die beim Anlegen des elektrischen Feldes entstehende Wärme wird über eine Wärmesenke abgeführt, sodass das Material wieder auf die Ausgangstemperatur abkühlt. Wird nun das elektrische Feld entfernt, so geht die geordnete Ausrichtung der elektrischen Dipole verloren und das Material kühlt auf einen Wert unterhalb der Ausgangstemperatur ab. Jetzt kann es thermische Energie aus einer Wärmequelle aufnehmen. Dieser Effekt ist zu einem sehr hohen Grad reversibel und lässt sich als elektrokalorischer Zyklus etablieren.

Patentiertes Konzept für effizienten Wärmeübertrag

Entscheidend für die Effizienz des elektrokalorischen Systems ist der Wärmetransport zwischen EK-Material und Wärmeübertrager. Fraunhofer IPM nutzt in einem patentierten Konzept für den Wärmetransport erstmals die latente Wärme beim Verdampfen bzw. Kondensieren eines Fluids auf dem EK-Material. Wie in einer Heatpipe verdampft ein Fluid (z. B. Wasser) an der warmen Seite eines hermetisch abgeschlossenen Rohrs und kondensiert an der kalten Seite des Rohrs, der Wärmesenke.



Wie funktioniert ein elektrokolorisches Segment?

Phase 1: Elektrisches Feld an

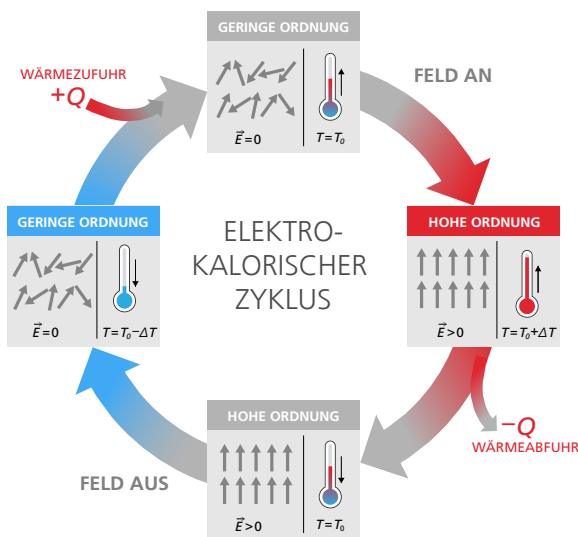
Mit Einschalten des elektrischen Feldes erwärmt sich das elektrokolorische Material, die vorhandene Flüssigkeit verdampft (1). Durch das verdampfende Fluid steigt der Druck in diesem Segment unmittelbar an, das Rückschlagventil nach rechts öffnet sich, das gasförmige Fluid entweicht und überträgt durch latenten Wärmeübertrag thermische Energie in das nächste Segment (2).

Phase 2: Elektrisches Feld aus

Mit Ausschalten des elektrischen Feldes kühlt das elektrokolorische Material ab (3). Dadurch kondensiert das Fluid auf den Komponenten und es entsteht ein Unterdruck gegenüber dem vorangehenden Segment. Gasförmiges Fluid strömt nach, Wärme wird aus dem vorangehenden Segment aufgenommen (4).

So wird Wärme sehr effizient übertragen: Der Wärmeübergangskoeffizient beim Verdampfen erreicht Werte bis 100 kW/(m²K) und ist somit um Größenordnungen höher als bei bisherigen Systemansätzen. Werden die elektrokolorischen Segmente in Reihe geschaltet und mit einer thermischen Diode kombiniert, ergibt sich eine Temperaturspreizung zwischen externem Kondensator und Verdampfer.

In bestehenden Konzepten kalorischer Kühlsysteme wird Wärme nach dem Prinzip der Active Electrocaloric Regeneration (AER) abgeführt – z. B. durch aktives Pumpen von Flüssigkeit durch die stapelweise mit Abstand angeordneten kalorischen Komponenten. Dies funktioniert aufgrund der geringeren Wärmeübertragung nur bis zu einer bestimmten Zyklusfrequenz; darüber hinaus kommt es zu erheblichem Druckverlust, was die Effizienz der Systeme beeinträchtigt.



Kalorik + Kreisprozess = Wärmepumpe

Elektrokolorisches Material erwärmt sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes. Führt man die Wärme an die Umgebung ab und entfernt dann das Feld, kühlt das Material ab; es kann nun Wärme aufnehmen. Zyklisch aufgebaut lässt sich der elektrokolorische Effekt für den Aufbau einer Wärmepumpe oder eines Kühlsystems nutzen.

Kontakt

Dr. Kilian Bartholomé
 Gruppenleiter Kalorische Systeme
 Telefon +49 761 8857-238
 kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
 Georges-Köhler-Allee 301
 79110 Freiburg
 www.ipm.fraunhofer.de

