

Magnetokalorische Systeme

Effizient kühlen und heizen ohne schädliche Kältemittel

Magnetokalorisches System der neuesten Generation mit 20 Segmenten (Demonstrator) – ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zur Marktfähigkeit kalorischer Kühlsysteme.

Gängige Kühlsysteme basieren fast ausschließlich auf Kompressoren. Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien gelten als vielversprechende Alternative zur Kompressortechnologie. Am Fraunhofer IPM entwickelte magnetokalorische Systeme erreichen eine im Vergleich zum Stand der Technik um eine Größenordnung höhere spezifische Kühlleistung. Grund ist ein neuartiges Konzept zum Wärmeübertrag.

Kompakt, leise und wartungsarm

Kompressorbasierte Systeme werden seit mehr als hundert Jahren zur Kühlung und Klimatisierung genutzt, haben jedoch einige Nachteile: Sie arbeiten mit Kältemitteln, die umwelt- bzw. gesundheitsschädlich oder brennbar sein können. Die Verwendung dieser Kältemittel wird immer stärker eingeschränkt und reglementiert, weshalb innovative Kühlkonzepte notwendig sind.

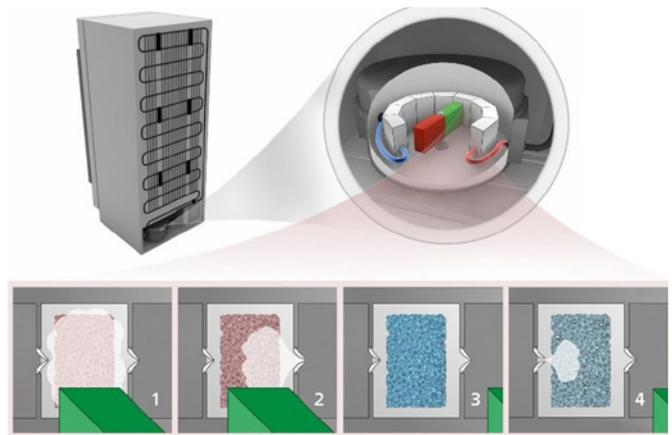
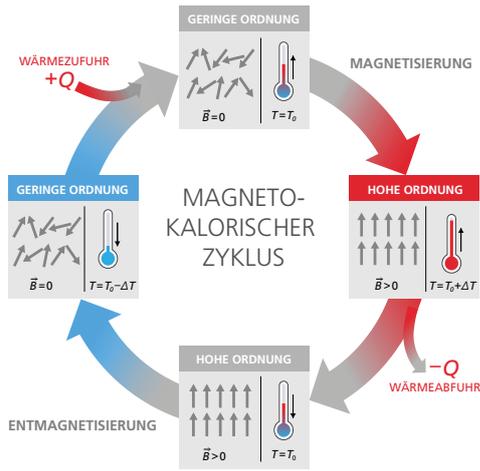
Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien könnten sich zu einer umweltfreundlichen Alternative im weltweit stetig wachsenden Markt der Kältetechnik entwickeln. Sie sind kompakt, leise, wartungsarm und kommen ohne schädliche Kältemittel aus. Fraunhofer IPM entwickelt magnetokalorische Kühlsysteme. Ein neuartiges Konzept zum Wärmeübertrag trägt dabei entscheidend zur Effizienz und Leistungsdichte bei.

Prinzip des magnetokalorischen Kühlkreislaufs

Magnetokalorische Systeme basieren auf magnetokalorischen (MK) Materialien. Fraunhofer IPM nutzt Gadolinium sowie Lanthan-Eisen-Silizium – eine Legierung, bei der der Effekt schon bei Raumtemperatur eintritt. MK-Materialien sind magnetisierbare Materialien, die sich bei Einwirkung eines magnetischen Felds um eine Temperatur ΔT erwärmen und bei Entfernen des Felds um ΔT abkühlen. So lässt sich ein Kühlzyklus realisieren: Das erwärmte MK-Material wird mit einer Wärmesenke verbunden, sodass Wärme abgeführt werden kann. Wird das magnetische Feld entfernt, kühlt sich das Material wieder ab und befindet sich auf einer niedrigeren Temperatur als zu Beginn des Zyklus. Das MK-Material wird mit der zu kühlenden Stelle verbunden und kann Wärme aufnehmen. Dieser Effekt ist in

Leistungen

Fraunhofer IPM berät und unterstützt Firmen bei der Charakterisierung magnetokalorischer Materialien sowie bei der Konzeptionierung, Entwicklung und Fertigung von Prototypen magnetokalorischer Systeme.



Magnetisierung Magnetokalorisches (MK) Material wird einem magnetischen Feld ausgesetzt und erwärmt sich aufgrund der erzeugten magnetischen Ordnung von der Temperatur T_0 auf $T_0+\Delta T$.
Wärmeabfuhr Das MK-Material wird mit einer Wärmesenke verbunden, sodass die entstandene Wärme abgeführt werden kann; das MK-Material nimmt wieder die Temperatur T_0 an.
Entmagnetisierung Wird das Feld entfernt, kühlt das MK-Material auf eine niedrigere Temperatur als zu Beginn des Zyklus ab ($T_0-\Delta T$).
Wärmezufuhr Das MK-Material wird nun mit der zu kühlenden Stelle verbunden und kann Wärme aufnehmen, bis es wieder die Temperatur T_0 erreicht hat.

Magnetokalorische Kühlung basierend auf dem Heatpipe-Konzept
 Die Wärme wird nach dem Prinzip einer thermischen Diode in nur eine Richtung »weitergeschoben«. Durch die im Magnetfeld erzeugte Wärme verdampft Flüssigkeit im MK-Material (1). Der Druck im Segment steigt. Das Überdruckventil öffnet sich, sodass Dampf in das Nachbarelement gelangt (2). Nach Entfernen des Magnetfelds kühlt das MK-Material unter die Ausgangstemperatur ab (3). Der Dampfdruck sinkt. Es entsteht ein Unterdruck gegenüber dem vorangehenden Segment. Gasförmiges Fluid strömt nach, Wärme wird aus dem vorangehenden Segment aufgenommen (4).

hohem Maße reversibel und ermöglicht es, sehr energieeffiziente Kühlsysteme und Wärmepumpen auf Basis von MK-Materialien zu realisieren.

Hohe Leistungsdichte dank innovativem Konzept für Wärmeübertrag

Ein am Fraunhofer IPM aufgebautes magnetokalorisches Kühlsystem mit einer nutzbaren Zyklusfrequenz von 20 Hz erreicht erstmals eine Leistungsdichte von 12,5 Watt pro eingesetztem Gramm des MK-Materials. Damit übertrifft das System alle bislang bekannten magnetokalorischen Systeme. Dies geht vor allem auf ein patentiertes Konzept zum latenten Wärmeübertrag auf Basis von Heatpipes zurück: Ein Fluid (z. B. Wasser) verdampft an der warmen Seite eines hermetisch abgeschlossenen Rohrs und kondensiert an der kalten Seite des Rohrs, der Wärmesenke. So wird Wärme sehr effektiv übertragen. Die einzelnen kalorischen Segmente werden in Reihe geschaltet und funktionieren nach dem Prinzip einer thermischen Diode.

In bisherigen Konzepten magnetokalorischer Kühlsysteme wird Wärme nach dem Prinzip der Active Magnetic Regeneration (AMR) durch aktives Pumpen von Flüssigkeit durch ein Material-Granulat oder Schichtstapel abgeführt. Dies funktioniert aufgrund der geringeren Wärmeübertragung nur bis zu einer bestimmten Zyklusfrequenz; darüber hinaus kommt es zu erheblichem Druckverlust – was in Verbindung mit dem häufig niedrigen Wirkungsgrad der Pumpen die Effizienz der Systeme beeinträchtigt.

Fraunhofer IPM arbeitet derzeit an einem Demonstratorsystem mit einer Kühlleistung von bis zu 300 W, einem maximalen Temperaturhub von 30 K und einem COP von über 5 – und geht damit einen weiteren Schritt in Richtung Kommerzialisierung der magnetokalorischen Kühltechnologie.

Technische Angaben

| | Temperaturhub | Kälteleistung | Effizienz |
|-----------------|---------------|---------------|-----------|
| Funktionsmuster | 2 K | 40 W | k. A. |
| Demonstrator 1 | 12 K | 150 W | k. A. |
| Demonstrator 2* | 30 K | 300 W | >50% |

*Zielspezifikationen

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

