

Christian Peter Heß: Thermischer Transport in Übergangsmetalloxiden mit niedrigdimensionalen Ladungs- und Spinstrukturen. 2002

In dieser Arbeit wurde die thermische Leitfähigkeit von dotiertem La_2CuO_4 und isostrukturellen Übergangsmetalloxiden sowie des Systems $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{La})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass Streifenkorrelationen in Nickelaten und Manganaten abhängig von Kommensurabilität und Dynamik der Streifen einen deutlichen Einfluss auf die phononische Wärmeleitfähigkeit besitzen. In dotiertem La_2CuO_4 dagegen konnte ein entsprechender Effekt nicht nachgewiesen werden. Vielmehr wird die phononische Wärmeleitfähigkeit dieses Systems im Wesentlichen durch ein von der Dotierung abhängiges Zusammenspiel von Phonon-Defekt- und Phonon-Phonon-Streuung erklärt, wobei der letztgenannte Streumechanismus bei bestimmten strukturellen Voraussetzungen verstärkt ist.

In La_2CuO_4 und $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_4$ wurde quasi-zweidimensionaler Wärmetransport durch magnonische Anregungen der quadratisch-planaren Heisenberg-Antiferromagneten mit Spin $S = 1/2$, die durch die CuO_2 -Ebenen realisiert sind, nachgewiesen. Bereits geringfügige Ladungsträgerdotierung in den Ebenen bewirkt eine drastische Unterdrückung dieses Transportkanals; durch Zn-Dotierung induzierte statische Defekte verursachen dagegen nur eine graduelle Reduktion. Die magnonische Wärmeleitfähigkeit wurde auf der Grundlage einer kinetischen Modellierung analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass die mittlere freie Weglänge der Magnonen umgekehrt proportional zur Zn-Konzentration ist.

Eine wesentlich größere magnonische Wärmeleitfähigkeit wurde in dem System $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{La})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$, das zweibeinige Cu_2O_3 -Leitern und CuO_2 -Ketten enthält, beobachtet. Dieser quasi-eindimensionale Wärmetransport entsteht durch die Propagation magnetischer Anregungen in den durch die Cu_2O_3 -Strukturen realisierten antiferromagnetischen Heisenberg-Spinleitern mit Spin $S = 1/2$. Durch die Analyse der Wärmeleitfähigkeit mit einem kinetischen Modell erhält man die magnetische Anregungslücke der Leitern sowie die mittleren freien Weglängen der Magnonen, die in einigen Fällen nahezu 1000 Gitterkonstanten erreicht. In $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ ist Magnon-Loch-Streuung der wichtigste Streumechanismus. Über die mittleren freien Weglängen der Magnonen kann daher die Lochkonzentration in den Leitern ermittelt werden. Demzufolge ist die Lochdichte in den Leitern stark temperaturabhängig. Als Ursache für diese Temperaturabhängigkeit wurde ein temperaturgetriebener Transfer von Löchern aus den Ketten- in die Leiternsubstrukturen vorgeschlagen.

Results on thermal conductivity measurements performed on doped La_2CuO_4 and isostructural transition metal oxides as well as on $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{La})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ are presented. It is demonstrated that stripe correlations strongly influence the phonon thermal conductivity of nickelates and manganites, depending on commensurability and dynamics of the stripes. However, stripe correlations are of minor significance for understanding the unusual phonon thermal conductivity of doped La_2CuO_4 . In this system the phonon thermal conductivity is basically governed by a doping dependent interplay of phonon-defect-scattering as well as phonon-phonon-scattering, which is enhanced in a certain structural modification.

Another interesting aspect concerning the thermal conductivity κ in the cuprate-material are large magnetic contributions to κ . These are observed most clearly in La_2CuO_4 and $\text{La}_{1.8}\text{Eu}_{0.2}\text{CuO}_4$, which do not contain free charge carriers. This quasi-two-dimensional magnon thermal conductivity κ_{mag} arises due to magnons propagating in the CuO_2 -planes, where each plane can be regarded as an almost perfect realization of a planar Heisenberg antiferromagnet on a square lattice with spin $S = 1/2$. Charge carrier doping causes a strong suppression of κ_{mag} already at very low doping levels. In contrast, static non-magnetic defects that are induced by Zn-doping lead only to a gradual reduction. κ_{mag} has been analyzed using a kinetic model. The resulting magnon mean free paths are inversely proportional to the Zn-concentration in the CuO_2 -planes.

An even larger κ_{mag} is observed in $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{La})_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$, which contains Cu_2O_3 two-leg-ladders and CuO_2 chains. In this case quasi-one-dimensional heat transport emerges from magnetic excitations in the antiferromagnetic Heisenberg spin-1/2 ladders that are realized by the Cu_2O_3 structures. Analysis of κ_{mag} on basis of a kinetic approach yields the magnetic excitation gap of the ladders as well as the magnon mean free path, which reaches almost 1000 lattice spacings. In $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ the most important scattering mechanism for magnons is scattering on holes in the ladders. Therefore, the magnon mean free paths allow to determine the hole concentration in the ladders, which is found to be strongly temperature dependent. This observation suggests a temperature-driven transfer of holes from the chains into the ladders.