

Sönke Ostertun

Darstellung der Forschungsaktivitäten

Der Mechanismus der Hochtemperatur-Supraleitung ist seit ihrer Entdeckung noch nicht geklärt. Unterschiedliche experimentelle Techniken helfen, Vorhersagen der Theorien zu überprüfen. Während die Tunnelspektroskopie und winkelaufgelöste Photoemissionsspektroskopie (ARPES) im wesentlichen die Oberflächen der Materialien charakterisieren, ist es mit Hilfe der Raman-Spektroskopie und der Neutronenstreuung möglich, Volumeneigenschaften zu untersuchen.

Die Raman-Spektroskopie erfaßt unterschiedlichste Anregungen des Festkörpers wie z. B. Phononen, elektronische Anregungen oder Magnonen. Der wesentliche Teil dieser Arbeit befaßt sich mit dem gekoppelten Elektron-Phonon-System der Hochtemperatur-Supraleiter-Familie $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (R = Seltene Erde, Yttrium oder Yttrium/Kalzium). Da mit Licht Phononen in der Regel über das Elektronensystem angeregt werden, ist die Berücksichtigung der Elektron-Phonon-Kopplung von fundamentaler Bedeutung. Während im Fall einer frequenzunabhängigen elektronischen Response ein Fano-Profil zur Beschreibung der Linienform eines Phonons ausreicht, ist im Falle einer energieabhängigen Response die Beschreibung durch ein Fano-Profil nicht mehr adäquat.

Im ersten Teil der Arbeit wurde ein Modell eines erweiterten Fano-Profiles entwickelt, welches es erlaubt, das kombinierte Elektron-Phonon-System mit Hilfe eines phänomenologischen Ansatzes der elektronischen Response zu beschreiben. Diese phänomenologische Beschreibung ist nötig, da bislang keine Theorie eine analytische Formel für die elektronische Response im supraleitenden Zustand angeben kann, die für die systematische Auswertung der Spektren aber unabdingbar ist [A. Bock, S. Ostertun, R. Das Sharma, M. Rübhausen, K.-O. Subke, and C. T. Rieck, Phys. Rev. B **60**, 3532 (1999)].

Erst mit diesem Modell ist eine angemessene Beschreibung der B_{1g} -Spektren überdotierter $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Proben möglich, da der im Normalzustand im wesentlichen konstante elektronische Untergrund im supraleitenden Zustand stark umverteilt wird, was sich in einem deutlichen Paarbrechungspeak äußert, der energetisch der B_{1g} -Mode sehr nahe gelegen ist. Zur Phononen-Intensität tragen in diesem Modell im wesentlichen zwei Beiträge bei: Ein Teil der Intensität resultiert aus der Wechselwirkung mit energetisch weit entfernt liegenden elektronischen Anregungen. Während dieser Anteil für sich genommen ein Lorentz-Profil ergibt, hat der zweite Anteil, in dem sich die Wechselwirkung mit dem Elektronensystem bei vergleichbaren Energien widerspiegelt, deutlichen Fano-Charakter.

Aus dem Modell lassen sich Rückschlüsse auf die Elektron-Phonon-Kopplung schließen, die im September 1999 auf der "International Conference on Solid State Spectroscopy (ICSSS)" im Schwäbisch Gmünd präsentiert wurden [A. Bock, S. Ostertun, and K.-O. Subke, Phys. Status Solidi B **215**, 495 (1999)].

Mit Hilfe der resonanten Raman-Spektroskopie lassen sich weitere Einsichten in das System der Hochtemperatur-Supraleiter gewinnen. Erste Ergebnisse, die mit Hilfe des erweiterten Fano-Profiles in Kombination mit den resonanten Raman-Streuexperimenten ergeben haben, sind letztes Jahr auf der “International Conference on Molecular and Oxide Superconductors (MOS99)” in Stockholm, Schweden präsentiert worden [S. Ostertun, J. Kiltz, T. Wolf, and A. Bock, *J. Low Temp. Phys.* **117**, 429 (1999)]: Es wurde beobachtet, daß in $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ der Lorentz-artige Beitrag zur Intensität des B_{1g} -Phonons für Anregungsenergien unterhalb von etwa 2 eV mit Unterschreiten der kritischen Temperatur T_c abrupt abnimmt. Eine ähnliche Intensitätsanomalie wurde inzwischen bei weiteren Phononen des Systems festgestellt. Unterhalb von ca. 2 eV nimmt die Intensität der O(4)-Mode in A_{1g} ähnlich ab wie die B_{1g} Mode. Auch die Cu(2)-Mode zeigt eine Intensitätsabnahme unterhalb von T_c , die allerdings auch für Anregungsenergien oberhalb von 2 eV zu beobachten ist. Die Resonanz dieser Intensitätsanomalie, die effektiv zu einer Resonanzverstärkung der Phononen im supraleitenden Zustand führt, ist Thema eines Manuskripts [S. Ostertun, J. Kiltz, A. Bock, U. Merkt, and T. Wolf], welches zur Zeit zur Publikation vorbereitet wird. Das Resonanzverhalten der O(4) Mode wurde bereits im März diesen Jahres auf dem “March Meeting” der American Physical Society (APS) in Minneapolis, USA vorgestellt.

In Zusammenarbeit mit Dr. habil. Meinhard Schilling und weiteren Mitarbeitern sowie mit Hilfe von Arne Krämer von der Technischen Universität Hamburg-Harburg wurden vertikale und laterale $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Supergitter mit Schichtdicken im Bereich von 4.4 bis 6.8 nm (laterale Gitter) bzw. 43 bis 137 nm (vertikale Gitter) hergestellt, an denen Raman-Messungen durchgeführt wurden. Es zeigt sich, daß in das normalerweise nicht supraleitende $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ durch das $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ eine Energielücke induziert wird, die zwar nicht direkt im elektronischen Spektrum festzustellen ist, aber eindeutig durch die supraleitungsinduzierten Renormalisierungen der Phononen nachweisbar ist [D. Budelmann, S. Ostertun, M. Rübhausen, A. Bock, M. Schilling, H. Burkhardt, U. Merkt, and A. Krämer, eingereicht bei *Phys. Rev. B* (2000)]. Während die Energielücke in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ oberhalb von ca. 340 cm^{-1} liegt, ist sie in $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ deutlich kleiner als 300 cm^{-1} . Aus den Ergebnissen läßt sich schließen, daß der “Long-Range-Proximity”-Effekt eine intrinsische Eigenschaft ist. Außerdem zeigt sich, daß die vertikale oder laterale Orientierung der Supergitter keinen Einfluß auf die beobachteten Effekte hat.

Ebenfalls in einer Zusammenarbeit mit Dr. habil. Meinhard Schilling wurde mit Hilfe des Mikro-Raman-Aufbaus des Raman-Spektrometers in die etwa $4\text{ }\mu\text{m}$ breite Zuleitung eines $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Josephson-Kontakts im Abstand von etwa $1\text{ }\mu\text{m}$ eine sauerstoff-reduzierte Zone präpariert, die einen Durchmesser von ca. $2.5\text{ }\mu\text{m}$ hat. Dieser Bereich bleibt bei einer Temperatur von 77 K normalleitend, so daß sich bei dieser Temperatur direkt neben dem Josephson-Kontakt ein supraleitender Ring befindet, dessen Bahnbreite an der schmalsten Stelle ca. 500 nm beträgt. Im Fraunhofer-Muster des Josephson-Kontakts kann die Flußquantisierung innerhalb dieses normalleitenden “Lochs” wegen der damit verbundenen Abschirmströme nachgewiesen werden. Damit stellt dieses System eine sehr empfindliche lokale Meßmethode für Magnetisierungsmessungen zur Verfügung [H.-J. Barthelmeß, S. Krey, S. Ostertun, and M. Schilling, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 1882 (2000)].

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Theorie: Dr. C. T. Rieck, Dr. D. Manske, Prof. Dr. K. Scharnberg

Experiment: Dr. L. Rolf, Dr. M. Rübhausen, Prof. Dr. U. Merkt

Ausblick

Nach Einreichung des Manuskripts [7] wird die Arbeit bis Ende des Jahres abgeschlossen.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] A. Bock, R. Das Sharma, S. Ostertun und K.-O. Subke: *Low-energy Raman continuum in overdoped $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_7$ films*, J. Phys. Chem. Solids **59**, 1958–1961 (1998).
- [2] S. Ostertun, J. Kiltz, T. Wolf und A. Bock: *Resonant Raman Study of Superconducting Gap and Electron-Phonon-Coupling in $YbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* , J. Low Temp. Phys. **117**, 425–429 (1999).
- [3] A. Bock, S. Ostertun, R. Das Sharma, M. Rübhausen, K.-O. Subke und C. T. Rieck: *Anomalous self-energy effects of the B_{1g} phonon in $Y_{1-x}(Pr, Ca)_xBa_2Cu_3O_7$ films*, Phys. Rev. B **60**, 3532–3537 (1999).
- [4] A. Bock, S. Ostertun und K.-O. Subke: *Electron-Phonon Coupling Deduced from Phonon Line Shapes*, Phys. Status Solidi B **215**, 495–500 (1999).
- [5] H.-J. Barthelmeß, S. Krey, S. Ostertun und M. Schilling: *Sensitive Josephson magnetometry of flux quantization in a normal conducting hole in a narrow $YBa_2Cu_3O_7$ line*, Appl. Phys. Lett. **77**, 1882–1884 (2000).
- [6] D. Budelmann, S. Ostertun, M. Rübhausen, A. Bock, M. Schilling, H. Burkhardt, U. Merkt und A. Krämer: *Proximity effect in $YBa_2Cu_3O_{7-y}/PrBa_2Cu_3O_{7-y}$ superlattices studied by inelastic light scattering*, eingereicht bei Phys. Rev. B.
- [7] S. Ostertun, J. Kiltz, A. Bock, U. Merkt und T. Wolf: *Superconductivity-induced resonance-enhancement of photon intensities in $RBa_2Cu_3O_7$ ($R = \text{rare earth}$)*, in Vorbereitung.

Teilnahme an Tagungen

- „Selbstenergie-Effekte des B_{1g} -Phonons im Y-123 System: Wechselwirkungen mit Gap- und Pseudogap-Anregungen“
S. Ostertun, A. Bock, R. Das Sharma, M. Rübhausen, K.-O. Subke und U. Merkt
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
Münster, März 1999 Beitragsform: Vortrag
- „Resonant Raman Study of Superconducting Gap and Electron-Phonon-Coupling in $YbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ “
S. Ostertun, J. Kiltz, T. Wolf, and A. Bock
International Conference on Physics and Chemistry of Molecular and Oxide Superconductors (MOS99)
Stockholm (Schweden), August 1999
Beitragsform: Vortrag

- „Electron-Phonon Coupling Deduced from Phonon Line Shapes“
A. Bock, S. Ostertun, and K.-O. Subke
International Conference on Solid State Spectroscopy (ICSSS)
Schwäbisch Gmünd, September 1999
Beitragsform: Poster
- „Resonant Raman Scattering on Electronic and Phononic Excitations in $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ “
S. Ostertun, J. Kiltz, and U. Merkt
March Meeting der American Physical Society (APS)
Minneapolis (USA), März 2000
Beitragsform: Poster

Tagungsbeiträge als Mitautor

- „Self-Energy Effects of the B_{1g} Phonon in the Y-123 System: Interactions with Gap and Pseudogap Excitations“
A. Bock, S. Ostertun, R. Das Sharma, M. Rübhausen, K.-O. Subke, and U. Merkt
March Meeting der American Physical Society (APS)
Atlanta (USA), März 1999
Beitragsform: Vortrag
- „Elektron-Phonon-Kopplung und Energielücke von RE-123 und $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Einkristallen: Eine Raman-Studie“
J. Kiltz, S. Ostertun, A. Bock, T. Wolf und U. Merkt
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
Münster, März 1999
- „Raman-Spektroskopie an vertikalen und lateralen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Supergittern“
D. Budelmann, S. Meyer, S. Ostertun, H. Burkhardt, A. Bock, M. Schilling und U. Merkt
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
Regensburg, März 2000
- „Resonante Raman-Streuung an $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ zur Untersuchung elektronischer und phononischer Anregungen“
J. Kiltz, S. Ostertun, D. Budelmann, A. Bock, U. Merkt und T. Wolf
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
Regensburg, März 2000

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „Elektron-Phonon-Wechselwirkung in überdotierten $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Filmen“
Bewerbungsvortrag für das Graduiertenkolleg *Physik nanostrukturierter Festkörper*

Seminar über Ausgewählte Kapitel aus der Tieftemperaturphysik
Hamburg, 11.06.1998

- „Resonant Raman Study of Superconducting Gap and Electron-Phonon-Coupling in $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ “
2. Workshop des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
Niederkeez, Mai 1999
- „Supraleitungsinduzierte Resonanzverstärkung der Phononen im $\text{R}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -System“
Ringvorlesung des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
Hamburg, 10.05.2000
- „Raman-Spektroskopie an $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -Supergittern“
3. Workshop des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
Schwerin, Oktober 2000