

## Elektronen Paramagnetische Resonanz

Jörg Sichelschmidt

Das neue Spektrometer zur Untersuchung der Elektronen Paramagnetischen Resonanz (EPR) (Bruker Elexys E500) dient der eingehenden Charakterisierung dynamischer paramagnetischer Probeneigenschaften und der Untersuchung lokaler Spinsonden wie zum Beispiel dotierte paramagnetische Ionen, Defekte, Radikale oder Metallkomplexe.

Mit diesem Gerät kann eine paramagnetische Resonanz einer Probe mit sehr hoher Empfindlichkeit nachgewiesen werden. Mit Hilfe eines Mikrowellen-Hohlraumresonators, in dem sich die Probe befindet, wird eine Empfindlichkeit von weniger als  $10^{13}$  paramagnetischen Spins pro 0,1 mT Linienbreite erreicht.

Zwei feste Mikrowellenfrequenzen, 34 GHz (Q-Band) und 9,4 GHz (X-Band), können zur Untersuchung der Spindynamik genutzt werden. Entsprechend der Resonanzbedingung sind daher EPR Spinanregungen bei zwei statischen Magnetfeldern beobachtbar womit auch feldabhängige Effekte in den EPR-Spektren erkannt werden können. Zum Beispiel wird durch den Vergleich von X- und Q-Band-Spektren der Einfluß von Kristallfeld und magnetischer Polarisation auf die EPR-Spins sichtbar.

Zur Messung von EPR-Spektren kann das statische Magnetfeld von 0 T bis 1,8 T linear verändert werden. Diese große Feldvariation ermöglicht die Beobachtung von breiten EPR-Spektren, d.h. Linienbreiten von bis zu 1 T (das entspricht einer magnetischen Wechselwirkungsenergie der Probenspins mit ihrer Umgebung von etwa 0,7 K). Für die Festkörper-EPR ist die Beobachtungsmöglichkeit solch großer Linienbreiten sehr wichtig,



Abb. 1: EPR System: Gesamtansicht.  
Fig. 1: EPR System: Total view.

denn Linienbreiten von 1 T und mehr können in intermetallischen Verbindungen leicht erreicht werden, die paramagnetische Ionen in hoher Konzentration enthalten, wie zum Beispiel CeNiSn oder  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ .

Mit Hilfe von Gasdurchflußkryostaten (Oxford Instruments) kann die Probentemperatur kontinuierlich zwischen 3,8 K und 500 K eingestellt werden. Ein Goniometer ermöglicht detaillierte Untersuchungen anisotroper magnetischer Eigenschaften von einkristallinen Proben. Diese können mit definierter Orientierung ihrer Kristallachsen bezüglich des Mikrowellenfeldes in den Hohlraumresonator eingebracht werden. Die Orientierung der Kristalle im Magnetfeld kann dann kontinuierlich verändert werden, um orientierungsabhängige EPR-Spektren zu erhalten.

## Electron Paramagnetic Resonance

Jörg Sichelschmidt

The new electron paramagnetic resonance (EPR) spectrometer (Bruker Elexys E500) is a powerful tool to characterize dynamic paramagnetic sample properties. It allows to investigate local spin probes like doped paramagnetic ions, defects, radicals or metal complexes, for instance.

The paramagnetic resonance can be detected with an enormous sensitivity. With the help of cavity microwave resonators, where the samples are placed in, a sensitivity lower than  $10^{13}$  paramagnetic spins per 0.1 mT linewidth can be reached.

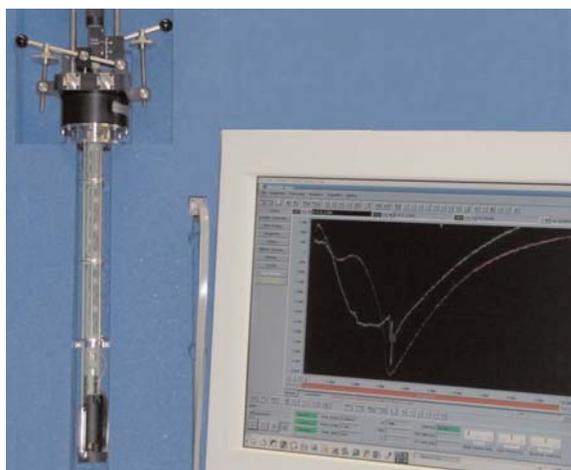


Fig. 2: Q-Band resonator and EPR processing software.  
Abb. 2: Q-Band Resonator und Software zur EPR Auswertung.

Two fixed microwave frequencies for probing the spin dynamics are available, 9.4 GHz (X-band) and 34 GHz (Q-band), respectively. Therefore, according to the magnetic resonance condition, EPR spin excitations are observed at two static magnetic fields. Hence magnetic field dependent effects on the EPR spectra can be identified. For instance, the influence of crystal field and magnetic polarization on the magnetic energy of the spin species is observable.

For detecting EPR the static magnetic field can be linearly varied from 0 T up to 1.8 T. This considerably wide field variation enables the observation of broad EPR spectra, i.e., linewidths of up to 1 T (which corresponds to a magnetic interaction energy of the probe spin with its surrounding of about 0.7 K). The possibility to observe such large line widths is highly desirable in solid state EPR as they are easily achieved or even exceeded in intermetallic compounds where high concentrations of paramagnetic ions are involved, for instance CeNiSn or  $\text{Eu}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ .

Using gas-flow-type cryostats (Oxford Instruments) the sample temperatures can be continuously varied between 3.8 K and 500 K. Anisotropic magnetic behavior of single crystalline samples can be investigated in detail with the help of a goniometer. The samples can be mounted in the cavity resonator with a defined crystalline axis orientation with respect to the microwave field. The crystal orientation in the magnetic field may be varied continuously to gain orientational dependent EPR spectra.