

**AUSTAUSCH UND SPINRESONANZ IN DEN  
GADOLINIUM–PNIKTIDEN GdP, GdAs UND GdSb**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der Naturwissenschaften

der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN**

**HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

**HANS-RUDOLF NEUKOMM**

Dipl. Phys. ETH Zürich

geboren am 17. März 1940

von Küsnacht (Kt. Zürich)

und Hallau (Kt. Schaffhausen)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. G. Busch, Referent

Prof. Dr. W. Baltensperger, Korreferent

aku-Fotodruck

Zürich

1974

## Abstract

Powder samples of mixed crystals  $Gd_xY_{1-x}P$ ,  $Gd_xY_{1-x}As$  and  $Gd_xY_{1-x}Sb$  have been studied by electron-spin-resonance for Gd-concentrations  $0,01 \leq x \leq 1$  between the ordering temperatures and room temperature.

All measurements show a single exchange-narrowed and asymmetric absorption line of Lorentzian shape in the centre region. The g-factors are  $1,995 \pm 0,008$  in agreement with the expected value for a  $^8S_{7/2}$ -state of the half-filled 4f-shell. The linewidths are explained by dipolar and exchange interactions. It is shown that the effect of exchange narrowing is proportional to the sum of the absolute values of the exchange parameters. Therefore a new method for studying the magnetic coupling far above the ordering temperature is proposed.

The dependence of exchange on changes of the lattice parameters has been evaluated. The observed asymmetry of the resonance line gives a measure for the electric conductivity. In particular the beginning of critical scattering near the ordering temperature is observed.

## Zusammenfassung

Pulverproben der Mischkristallreihen  $Gd_xY_{1-x}P$ ,  $Gd_xY_{1-x}As$  und  $Gd_xY_{1-x}Sb$  wurden mit Hilfe der Elektronen-Spin-Resonanz für Gadolinium-Konzentrationen  $0,01 \leq x \leq 1$  zwischen den Ordnungstemperaturen und Zimmertemperatur untersucht.

Alle Proben zeigen eine einzige austausch-verschmälerte und asymmetrische Absorptionslinie, die im Zentrum die Form der Lorentzkurve hat. Die g-faktoren betragen  $1,995 \pm 0,008$  in Übereinstimmung mit der Erwartung für den  $^8S_{7/2}$ -Zustand der halbgefüllten 4f-Schale. Die Linienbreiten können durch Dipol-Dipol- und Austauschwechselwirkungen erklärt werden. Während der paramagnetische Curiepunkt die Art der magnetischen Ordnung bestimmt, zeigt es sich, dass die Verschmälerung der Resonanzlinie proportional zur Summe des Austausches ist. Daraus ergibt sich eine neue Methode zur Untersuchung magnetischer Kopplungen.

Eine Besonderheit der ESR liegt darin, dass die Beträge der Austauschwechselwirkungen oberhalb der Ordnungstemperatur bestimmt werden können. Die so gewonnenen Austauschparameter stellen eine wertvolle Ergänzung zu den Ergebnissen der Molekularfeldanalyse dar.

Die Gültigkeit der vorgeschlagenen Formel, nach der die Austauschverschmälerung der Resonanzlinie proportional zur Summe der Absolutbeträge der magnetischen Kopplungen ist, wird eindrucklich demonstriert am Beispiel des antiferromagnetischen GdP. Hier kompensieren sich die ferro- und antiferromagnetischen Anteile des Austausches nahezu, woraus eine paramagnetische Curietemperatur von nur wenigen Grad Kelvin resultiert. Trotzdem zeigt die Resonanzlinie eine beachtliche Austauschverschmälerung.

In Ferromagneten scheidet die Bestimmung zweier Austauschparameter  $J_1$  und  $J_2$  mit Hilfe der Molekularfeldtheorie daran, dass diese nur eine Bestimmungsgleichung liefert. Bei ungleichen Vorzeichen von  $J_1$  und  $J_2$  können jedoch aus der Linienbreite und dem paramagnetischen Curiepunkt die Beträge der Austauschparameter bestimmt werden.

In allen hier gemessenen Mischkristallen besteht grundsätzlich Übereinstimmung zwischen der Molekülfeldanalyse und den ESR-Linienbreiten. Dies deutet darauf hin, dass der Austausch, wie für lokalisierte Momente erwartet, gut durch Wechselwirkungen zwischen nächsten ( $J_1$ ) und übernächsten ( $J_2$ ) Nachbarn beschrieben werden kann.

Durch magnetische Verdünnung (Ersetzen von Gd durch Y) wird bei festgehaltenem Anion die Gitterkonstante geändert und die entsprechende Variation des Austausches ermittelt.

Im Temperaturverlauf der Linienbreite wird der Einfluss der kurzreichweitigen Ordnung sichtbar. Die Messungen zeigen, dass diese bereits weit oberhalb der Ordnungstemperatur einsetzt.

Aus dem Temperaturverlauf der Asymmetrie der Resonanzlinie kann auf den Verlauf der Leitfähigkeit geschlossen werden. Ohne die Kontaktierungsschwierigkeiten der üblichen elektrischen Widerstandsmessung wird die Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit nahe der Ordnungstemperatur infolge kritischer Streuung der Leitungselektronen an Spinfluktuationen nachgewiesen.