

**Magnetische Messungen in den Mischphasen**  
 **$\text{Fe}_{13}(\text{Ge}, \text{Si})_3$ ,  $\text{Fe}_3(\text{Ge}, \text{Si})$ ,  $(\text{Fe}, \text{Co})_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$  und**  
 **$(\text{Fe}, \text{Co})_3\text{Ge}_{0,2}\text{Si}_{0,8}$**

Von

**Rudolf Sobczak**

Institut für physikalische Chemie, Universität Wien, Österreich

Mit 1 Abbildung

(Eingegangen am 28. Januar 1976)

*Magnetic Measurements in the Systems  $\text{Fe}_{13}(\text{Ge}, \text{Si})_3$ ,  $\text{Fe}_3(\text{Ge}, \text{Si})$ ,  
 $(\text{Fe}, \text{Co})_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$ , and  $(\text{Fe}, \text{Co})_3\text{Ge}_{0,2}\text{Si}_{0,8}$*

The magnetic susceptibilities of germanides and silicides of the above composition have been measured in the ferromagnetic and paramagnetic region within the range between 80 K and 1270 K.

Vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung magnetischer Untersuchungen über Mischphasen  $(T_I, T_{II})_3 \{\text{Si}, \text{Ge}\}$  ( $T_I, T_{II} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$ )<sup>1</sup>.

**Probenherstellung und experimentelle Technik**

Mischungen der pulverförmigen Ausgangssubstanzen wurden gepreßt und in evakuierte Quarzröhrchen eingeschmolzen. Die Proben wurden dann im Induktionsofen zur Reaktion gebracht und im elektrischen Ofen 70 Stdn. bei 800 °C getempert. Anschließend wurden die Proben in Wasser abgeschreckt.

Für die Messungen im ferromagnetischen und paramagnetischen Bereich zwischen 80 K und 1270 K stand wieder die früher beschriebene Pendelwaage zur Verfügung<sup>2</sup>.

**Experimentelle Daten**

Die so hergestellten Mischphasen wurden röntgenographisch auf Homogenität untersucht. Die Gitterparameter zeigen einen monotonen Verlauf (Abb. 1).

Mit zunehmendem Ge/Si-Austausch beobachtet man bei der Mischphase  $\text{Fe}_{13}(\text{Ge}, \text{Si})_3$  ein Ansteigen der Curiepunkte, eine ungefähre Konstanz der paramagnetischen, aber ein Absinken der ferromagnetischen Momente. Bei der Mischphase  $\text{Fe}_3(\text{Ge}, \text{Si})$  fallen die ferromagnetischen

und paramagnetischen Momente linear ab. Die *Curiepunkte* steigen wieder schwach an. Während die Gitterparameter der Mischphasen  $\text{Fe}_{13}\text{Ge}_{2,1}\text{Si}_{0,9}$  und  $\text{Fe}_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$  fast gleich sind, ändern sich die magnetischen Werte deutlich.

In analoger Weise wurden die Mischphasen  $(\text{Fe, Co})_3\text{Ge}_{0,2}\text{Si}_{0,8}$  und  $(\text{Fe, Co})_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$  untersucht. Die *Curiepunkte* dieser Mischphasen liegen deutlich über denen der Mischphasen ohne Kobalt.

Die Mischreihe  $\text{Ni}_3(\text{Ge, Si})$  wurde ebenfalls untersucht. Sämtliche Mischphasen waren nahezu temperaturunabhängig paramagnetisch. Ein Versuch, Mischphasen vom Typ  $\text{Fe}_3(\text{Ge, Sn})$  mit merklichem Austausch  $\text{Ge/Sn}$  herzustellen, war erfolglos.

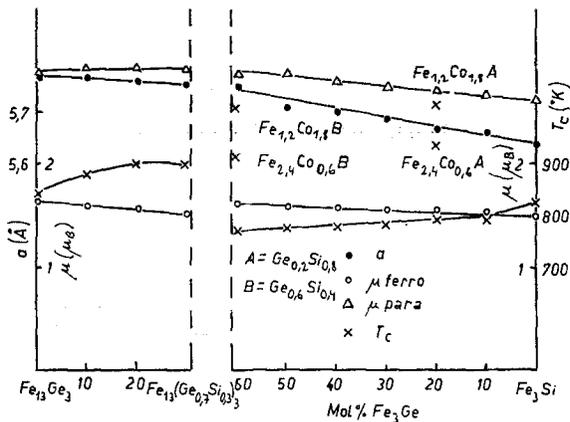


Abb. 1

### Diskussion

Die Deutung der Messungen erfolgt wie früher<sup>1</sup>. Durch Einbau von Ge an Stelle von Si in  $\text{Fe}_3\text{Si}$  werden durch eine abnehmende Anzahl von kovalenten Bindungen mehr Spins frei, was zu einer Erhöhung der Momente führt. Bei der Mischphase  $\text{Fe}_{13}(\text{Ge, Si})_3$  sind die paramagnetischen Momente allerdings nahezu konstant. Sowohl bei  $\text{Fe}_{13}\text{Ge}_3$  als auch bei  $\text{Fe}_3\text{Si}$  sind die Momente unvollständig ausgerichtet.

Die verschiedenen *Curiepunkte* der Phasen  $\text{Fe}_{13}\text{Ge}_{2,1}\text{Si}_{0,9}$  und  $\text{Fe}_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$ , die sich auch in der Zusammensetzung nicht drastisch unterscheiden, kann man entweder durch eine ferromagnetische Wechselwirkung (Ww.) zwischen lokalisierten Momenten und Leitungselektronen (s—d-Ww.), oder durch eine Besetzung von (Ge, Si)-Plätzen durch Fe in der Fe-reicheren Phase erklären. Direkte Wechselwirkung der lokalisierten Momente (d—d-Ww.) sollte, da die Gitterparameter etwa gleich sind, zu fast gleichen *Curietemperaturen* führen. Die für die s—d-Ww. wichtige Konzentration an Außenelektronen weist naturgemäß einen

Sprung auf. Es ergibt sich ein Verhältnis der Außenelektronen je Volumeneinheit ( $\text{\AA}^3$ ) von 0,08 zu 0,075.

Der Anstieg der *Curie*temperaturen mit steigendem Si-Einbau bei der  $\text{Fe}_3(\text{Si}, \text{Ge})$ -Mischphase hängt mit der Zunahme der direkten Ww. mit abnehmender Gitterkonstante zusammen.

Auf verschiedene Modelle der ferromagnetischen Wechselwirkung könnten auch die Phasen  $\text{Fe}_{13}\text{Ge}_3$  und  $\text{Fe}_3\text{Si}$  hindeuten. Dabei würde die schwächere direkte Wechselwirkung bei  $\text{Fe}_{13}\text{Ge}_3$  ( $a = 5,675 \text{ \AA}$ ) gegenüber  $\text{Fe}_3\text{Si}$  ( $a = 5,635 \text{ \AA}$ ) durch eine Zunahme der s—d-Ww. (Außenelektronen/ $\text{\AA}^3$ ; 0,083 : 0,067) ungefähr kompensiert werden ( $T_C = 840 \text{ K}$  und  $825 \text{ K}$ ). Genauso wie oben kann aber auch die teilweise Besetzung von (Ge, Si)-Plätzen durch Fe eine Rolle spielen.

Eine Andeutung für das Vorhandensein einer s—d-Ww. findet sich auch in der eingangs erwähnten Arbeit<sup>1</sup>. Im System  $(\text{Fe}, \text{Co})_3\text{Ge}$  hat der *Curie*punkt am Anfang und am Ende der Mischungsreihe trotz wesentlich kleinerer Gitterkonstante den gleichen Wert. Bei Phasen mit überwiegender d—d-Ww. dagegen bewirken bereits kleine Änderungen der Gitterkonstante entsprechende Änderungen der *Curie*temperatur.

Um weiteren Aufschluß über die Art der Wechselwirkung zu bekommen, wurde in  $\text{Fe}_3\text{Ge}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$  und  $\text{Fe}_3\text{Ge}_{0,2}\text{Si}_{0,8}$  Eisen durch Kobalt ersetzt. Da dabei an der Außenelektronenkonzentration kaum etwas geändert wird, ist der erhebliche Anstieg der *Curie*temperaturen in allen Fällen auf eine Verstärkung der d—d-Wechselwirkung zurückzuführen.

Herrn Professor Dr. H. Nowotny danke ich herzlich für wertvolle Diskussionen.

### Literatur

<sup>1</sup> R. Sobczak, Mh. Chem. **106**, 1389 (1975).

<sup>2</sup> R. Sobczak und H. Bittner, Rev. Chim. Miner. **1969**, 983.

Korrespondenz und Sonderdrucke:

Dr. R. Sobczak  
Institut für physikalische Chemie  
Universität Wien  
Währinger Straße 42  
A-1090 Wien  
Österreich