

Ref: 85/16

Magnetisches Phasendiagramm der amorphen $\text{Fe}_{100-x}\text{Sc}_x$ - Legierungen

Vom Fachbereich Materialwissenschaft
Der Technischen Universität Darmstadt

Zur

Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

(Dr.Ing.)

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Seyed Hashem Banhashemi

Aus dem IRAN, Teheran

Referent	:	Prof. Dr. H.Hahn
Korreferent	:	Prof. Dr. H. von Seggern
Tag der Einreichung	:	16-Juni-1999
Tag der mündlichen Prüfung	:	13-Juli-1999

Darmstadt, Juni 1999

1 Einleitung

Amorphe Metall-Metall-Legierungen aus Fe-ET (ET = Early Transition Metall = Frühübergangsmetall wie z.B. Zr, Hf, Y, Lu und Sc) haben in den letzten Jahren wegen ihrer überraschenden magnetischen Eigenschaften, wie z. B. nichtkollineare Anordnung der atomaren Momente [1], Invar-Verhalten [2], nichtkollineares Einfrieren der Spins bei tiefen Temperaturen [3] und einer statischen Verkipfung gegenüber dem externen Magnetfeld [4] großes Aufsehen erregt. Der Versuch einiger Autoren [5, 6], das magnetische Verhalten durch bekannte magnetische Strukturen zu erklären, führte nicht zum Erfolg. Vielmehr deuten die Magnetisierungsmessungen auf einen Spinglas-Zustand hin. Dieser magnetische Zustand, der gewöhnlich bei verdünnten magnetischen Legierungen mit einer mehr oder weniger statistischen Verteilung von magnetischen Atomen in einem nichtmagnetischen Metall auftritt, wird auf die konkurrierende RKKY (Rudermann-Kittel-Kasuya-Yosida) -Austauschwechselwirkung und das damit einhergehende Einfrieren der Spins zurückgeführt [7]. Das Auftreten einer konkurrierenden Wechselwirkung in amorphen Fe-reichen Legierungen wird im Rahmen des Bethe-Slater-Modells [8] diskutiert. In Abbildung 1-1 ist der Verlauf der direkten Austauschwechselwirkung in Abhängigkeit vom normierten Atomabstand, dem Verhältnis des Atomabstands zum mittleren Radius der d-Schale, dargestellt. Bei geringen Atomabständen führt die Überlappung der 3d-Wellenfunktionen nächster Nachbarn zu einer antiferromagnetischen Kopplung der atomaren Momente. Bei großen Atomabständen nimmt die Überlappung der Wellenfunktionen der Atome ab, und die Momente der 3d-Elektronen stellen sich in einem Atom, entsprechend dem Grenzfall der Hundschen Regeln, parallel ein. In diesem

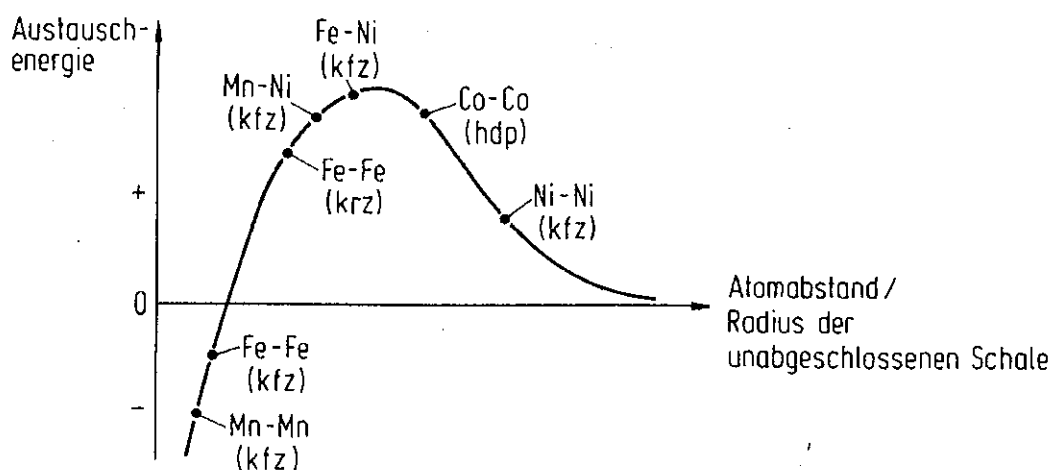


Abbildung 1-1
Bethe-Slater-Kurve: Austauschenergieabhängigkeit vom Verhältnis des Atomabstandes und des Radius der d-Schale [8].

Abstandsbereich führt die verbleibende Wechselwirkung zu einer ferromagnetischen Ordnung.

Die Untersuchungen an amorphen Fe-ET-Legierungen zeigen, daß sich die magnetische Ordnung entsprechend der Bethe-Slater-Kurve in zwei verschiedene Wege in Abhängigkeit vom Legierungselement bzw. Atomabstand der Fe-Fe-Atome entwickelt. (Zur Untersuchung der magnetischen Anomalien in amorphen Legierungen infolge der konkurrierenden Wechselwirkungen ist das Hinzulegieren von Frühübergangsmetallen aus zwei Gründen notwendig: Zum einen tragen die Frühübergangsmetalle zur Stabilisierung der amorphen Struktur bei, zum anderen wird der mittlere Fe-Fe-Abstand als Funktion der ET-Konzentration kontinuierlich verändert.) Die Frühübergangsmetalle liefern dabei selbst keinen magnetischen Beitrag. Entscheidend für die Einstellung des lokalen Fe-Momentes ist die Summe der Austauschwechselwirkungen mit seinen Nachbarn, die „effektive Austauschwechselwirkung“. Die effektive Austauschwechselwirkung kann im Fall der amorphen Fe-ET-Legierungen positiv, negativ oder sehr klein sein. Entsprechend koppelt das lokale magnetische Moment des Eisenatoms im bezug auf seine Umgebung ferromagnetisch, antiferromagnetisch oder frustriert. Bekanntlich sind in amorphen Legierungen die Atomabstände der benachbarten Atome nicht konstant. Diese Verteilung der Atomabstände (ΔR) führt gemäß der Bethe-Slater-Kurve zu einer entsprechenden Verteilung der Austauschwechselwirkung der atomaren magnetischen Momente. Die Breite der Verteilung dJ und die häufigste Austauschwechselwirkung J_0 bestimmen die wesentlichen magnetischen Eigenschaften des Systems [9]. Das System verhält sich ferromagnetisch für $J_0 > 0$ und $J_0 \gg dJ$, antiferromagnetisch für $J_0 < 0$ und $|J_0| \gg dJ$, wie ein ideales Spinglas für $J_0 = 0$ und $|J_0| \ll dJ$ oder wie ein "Re-entrant-Spinglas" für $J_0 > 0$ und $|J_0| \approx dJ$ [10].

Sherrington und Kirkpatrick [10] berechneten die Magnetisierung eines solchen Systems in Abhängigkeit von J_0 , dJ , der Temperatur und externen Feldern. Die Rechnungen liefern ein magnetisches Phasendiagramm, das im Falle von gemischten Wechselwirkungen bei einer wohldefinierten Temperatur T_f einen magnetischen Phasenübergang vom Ferromagneten zum Spinglas zeigt. Das Auftreten der Anomalien in den Magnetisierungsmessungen dieser Arbeit ist im wesentlichen auf dieses Vorhandensein von negativen und positiven Austauschwechselwirkungen in amorphen Fe-reichen Fe-ET Legierungen zurückzuführen.

Die bisher beobachteten magnetischen Anomalien werden hauptsächlich auf Basis der oben beschriebenen direkten kurzreichweitigen Austauschwechselwirkung diskutiert. Es gibt jedoch experimentelle Hinweise, daß die konkurrierende Austauschwechselwirkung nicht in jedem Fall durch die direkte Wechselwirkung verursacht werden kann. Im Falle von amorphen $Fe_{100-x}Y_x$ -Legierungen wird im ferromagnetischen Bereich der direkten Austauschwechselwirkung ($x > 25$, dabei liegt bei $x \approx 25$ das Maximum der Curie-Temperatur) überraschenderweise ein spinglasartiges Verhalten beobachtet [11]. Dieser Abstandsbereich liegt weit oberhalb desjenigen für konkurrierende Wechselwirkung in der Bethe-Slater-Kurve [8], und die Legierungen sollten oberhalb des Maximums ein ferromagnetisches- bzw. ein paramagnetisches Verhalten zeigen.

Auch die Magnetisierungskurve der amorphen Fe₂Sc-Legierung zeigt eindeutig, daß die Natur der Wechselwirkung nicht ferromagnetisch ist [12]. Zum Verständnis der Natur der magnetischen Wechselwirkung ist es daher notwendig, die amorphen Fe-ET-Legierungen systematisch zu untersuchen. Das System Fe-Sc ist besonders geeignet, da die bisherigen unvollständigen Untersuchungen gezeigt haben, daß der Beitrag der frustrierten Kopplung [13] sehr hoch sein kann, insbesondere im amorphen Fe-reichen Bereich. Aufbauend auf den bisher veröffentlichten Ergebnissen werden in der vorliegenden Arbeit zum ersten Mal systematische Untersuchungen am amorphen System Fe_{100-x}Sc_x in einem Konzentrationsbereich $8 \leq x < 70$ vorgestellt. Insbesondere der Bereich $20 < x < 70$ wurde hier zum ersten Mal untersucht und zeigt überraschende magnetische Eigenschaften. Es wird zum ersten Mal eine indirekte magnetische Wechselwirkung in amorphen Legierungen nachgewiesen, die zu einer antiferromagnetischen Ordnung führt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Aufklärung der magnetischen Struktur und die Bestimmung des unbekanntes magnetischen Phasendiagramms des amorphen Fe-Sc-Systems über einen breiten Konzentrationsbereich.