

PROEFSKRIFTE EN VERHANDELINGS

Spindigheidsgolfgedrag van Cr-Si- en Cr-Ga-allooii-enkelkristalle

A.R.E. Prinsloo

(Proefskrif vir die Ph.D.-graad in Fisika; promotor: H.L. Alberts; medepromotor: P. Smit)

Departement Fisika, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Aucklandpark

Spin-density-wave behaviour of Cr-Si and Cr-Ga alloy single crystals

The spin-density-wave (SDW) effects in Cr-Si and Cr-Ga alloy single crystals were investigated by means of thermal expansion, electrical resistivity and ultrasonic wave velocity measurements. The complete temperature-concentration and temperature-pressure magnetic phase diagrams of Cr-Ga were constructed. No empirical relationship between the temperature-concentration and temperature-pressure magnetic phase diagrams of Cr-Si and Cr-Ga were observed. Resonant scattering effects were considered in the calculation of the large magnetic contributions to the electrical resistivity in both alloys. In the study the effects of pressure on the magnetoelasticity of Cr-Si and Cr-Ga single crystals were also investigated. This gave more insight into the anharmonic effects in Cr alloys.

In hierdie studie is die spindigheidsgolf-effekte (SDG-effekte) in verdunde Cr-Si- en Cr-Ga-allooii-enkelkristalle ondersoek. Die alliërting van Cr met nie-magnetiese, nie-oorgangselemente Si en Ga as onsuiwerhede, toon 'n komplekse verloop vir die magnetiese oorgangstemperature, naamlik die Néel-temperatuur (T_N) en die oorgangstemperatuur (T_{cr}) vir die uitpas (U) na inpas (I) SDG-oorgang, met Si- en Ga-konsentrasie. Die magnetiese fase-diagramme van beide Cr-Si en Cr-Ga toon 'n drievooudspunt waar die paramagnetiese (P), ISDG- en USDG-fases gelyktydig bestaan.

Eksperimentele werk op polikristallyne Cr-Ga het interessante magneto-elastiese resultate opgelewer, maar die spinomslag-temperatuur (T_{sf}) (waar daar vanaf die transversale USDG-toestand na die longitudinale USDG-toestand gegaan word met afname in temperatuur) kon nie bepaal word nie. Teoretiese voorspellings, gebaseer op magneto-elastiese data van polikristallyne Cr-Ga-allooie, lewer die teken van die drukafshanklikheid van die USDG-ISDG-fase-oorgangstemperatuur teengesteld aan dit wat direk gemeet is. Studies op enkelkristalle is dus nodig vir meer duidelikheid. Die termiese uitsetting, elastisiteitskonstantes en ultrasoniese demping as funksie van temperatuur, in die temperatuurgebied 77 K tot 450 K, is bestudeer vir Cr-Ga-allooii-enkelkristalle met konsentrasies van 0.16, 0.42 en 0.88 at.% Ga.

Vanuit die magneto-elastisiteitsgedrag as funksie van temperatuur is T_{sf} vir die onderskeie Cr-Ga-monsters verkry en die volledige temperatuur-konsentrasie ($T - x$) fasediagram van Cr-Ga is saamgestel. Die analisering en parameterisering van die magneto-elastisiteitsdata is gedoen aan die hand van 'n termodinamiese model, waarvan die hoofaanname is dat die magnetiese vrye energie geskei kan word van die totale vrye energie en dat die volume-vervormingsterme in die vrye energie die afskuifvolume-vervormingseffekte domineer. Hierdie termodinamiese model voorspel die temperatuurafshanklikheid van die magnetiese bydraes tot die massamodulus en die magnetovolume in die USDG-toestande van die allooie redelik goed. Resultate van die huidige studie toon dat die kortafstand magnetiese ordening en die spinfluktusies in Cr-Ga-allooie bo T_N minder volumeafshanklik is as die SDG onder T_N . Die divergensie van die eksperimentele ultrasoniese dempingskoëfisiënte as funksie van T naby T_N is teoreties ondersoek, maar dit is gevind dat die teoretiese voorspellings nie die huidige meting bevredigend verklaar nie.

Die effek van druk op die magneto-elastisiteit van Cr-allooie gee meer insig rakende die anharmoniese effekte in die interatomiese interaksiekontensiaal, asook inligting rakende die rol wat die interaksies van die longitudinale en afskuifmodussonone met die SDG by die magnetiese fase-oorgange van Cr-allooie speel. Die anharmoniese effekte in die Cr-Si- en Cr-Ga-allooisisysteme is bestudeer, deur klanksnelheidsmetinge as funksie van aangelegde druk, tot 0.16 GPa, en temperatuur te meet, vir die 0.16 en 0.88 at.% Ga, sowel as vir die 0.5 en 1.6 at.% Si-enkelkristalle.

Vanuit die magneto-elastisiteitsgedrag as funksie van druk is gevind dat longitudinale modeversagting vir Cr-Si-kristalle net in 'n klein temperatuurinterval onder T_N plaasvind. Vir die Cr + 1.6 at.% Si-enkelkristal is dwarsgolfmodeversagting egter tot by temperatuur veel laer waargeneem. Die longitudinale modeversagting en -verharding wat by die eersteorde-ISDG-P-oorgang in Cr + 1.6 at.% Si gevind is, is besonder groot, in vergelyking met ander Cr-allooie wat tweedeorde-ISDG-P-oorgange toon. Verder kan aangelei word dat die interaksie tussen die SDG en die langgolflengte akoestiese sonone 'n dominante rol speel in die elastiese optrede van beide Cr-Si-enkelkristalle deur T_N . Die hellings van die onderskeie faselynne van die temperatuur-druk ($T - p$)-fasediagram van Cr-Si is bepaal. Vir die Cr + 0.5 at.% Si-enkelkristal vergelyk hierdie helling goed met dit verkry vanuit neutrondiffraksie-metinge. Vanuit die waarde van die helling vir die eersteorde-ISDG-P-faselyn van Cr + 1.6 at.% Si is die waarde van die latente warmte, geassosieer met die oorgang, bereken. Hierdie waarde vergelyk goed met dit verkry vanuit direkte eksperimentele metinge.

Die $T - p$ -fasediagram is bepaal vir Cr-Ga vanuit die klanksnelheidsmetinge as funksie van temperatuur, by verskeie konstante drukke. Die teken van die helling van die USDG-ISDG-faselyn van hierdie $T - p$ -fasediagram is negatief. Dit is in ooreenstemming met dit wat verkry is vanuit resistiwiteitsmeting as 'n funksie van druk op polikristallyne materiaal. Die teken verskil egter met dit wat teoreties voorspel is vanuit termiese uitsettingsmetinge op polikristallyne Cr-Ga-allooie. Vanuit die huidige termiese uitsettingsmetinge is die korrekte teken egter verkry. Beide die kristalle toon relatiewe groot anharmonisiteit naby die magnetiese fase-oorgangstemperature, weens die sterk koppeling tussen die SDG en die akoestiese sonone. Die Cr + 0.88 at.% Ga-enkelkristal toon 'n kontinueerde verandering in die gemiddelde akoestiese mode Grüneisen-

parameter, wat 'n aanduiding gee van die anharmonisiteit by die middel van die Brillouin-sone, deur die oorgangstemperature T_N en T_{Uf} , met 'n maksimum tussen T_N en T_{Uf} , wat uitsonderlik is. Die koppeling van die spinfluktuasies met die akoestiese fonone net bokant T_N blyk kleiner te wees in Cr-Ga as in ander Cr-allooie.

Die elektriese resitiwiteit, p , van die Cr-Ga- en Cr-Si-enkelkristalle is ondersoek as funksie van temperatuur, van 4.2 K tot so hoog as 1000 K. Analise van die resultate is gedoen aan die hand van 'n model, wat effekte van die SDG-energiégaping in ag neem. Resonante strooiingseffekte van die geleidingselektrone by lokale onsuiwerheidstoestande binne die SDG-energiégaping op die resitiwiteit van Cr-Si-allooie is ook in ag geneem in die berekening. Die verwerking van die eksperimentele resultate het 'n minimum in die $(\Delta\rho/p - T)$ -kromme by die USDG-ISDG-oorgangstemperatuur van die Cr + 1.2 at.% Si gelewer, met $\Delta\rho/p$ die resitiwiteitsanomalie en $\Delta\rho$ die magnetiese komponent van die resitiwiteit. 'n Klein anomalie is by T_g in die $(\Delta\rho/p - T)$ -kromme van Cr + 0.16 at.%

Ga opgemerk. Analise van die resitiwiteitsdata duï op die teenwoordigheid van 'n buitengewoon groot resitiwiteitskomponent van magnetiese oorsprong vir Cr-Si- en Cr-Ga-allooienkelkristalle.

'n Empiriese verwantskap is gevind tussen die $T - x$ - en $T - p$ -fasediagramme van sommige Cr-allooie. Vir die Cr-Si- of Cr-Ga-allooienkelkristalle kon daar egter geen duidelike empiriese verband gevind word tussen hierdie fasediagramme nie. Ten spyte daarvan dat Si eksperimenteel as 'n elektronskenker optree, kon bestaande teoretiese modelle nie op die $T - x$ -fasediagram van Cr-Si gepas word nie. Die model is egter suksesvol gepas op die ISDG-P- en USDG-ISDG-faselyne van die $T - x$ -fasediagram van Cr-Ga.

Hierdie studie lewer 'n belangrike bydrae om die spindigheidsgolfgedrag in Cr-allooie beter te verstaan. Dit gee nuwe insigte in die aard van die koppeling van die spindigheidsgolf met die fonone in die allooie, asook rakende die magnetiese fasediagramme van Cr-Si en Cr-Ga verdunde allooie.