Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 41 (1968)
Heft: 6-7

Artikel: Magnetische Suszeptibilität des legierten und flüssigen CdSb
Autor: Matyàš, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-113968

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Magnetische Suszeptibilität des legierten und flüssigen CdSb

von **M. Matyáš**
Institut der Festkörperphysik, Tschechoslowakische Akademie der Wissenschaften Prag

(25. IV. 68)

Zusammenfassung. Es wurde die Hallkonstante und die magnetische Suszeptibilität der mit Mn, Fe, Ni und La legierten CdSb-Proben bei 77° bis 300 °K gemessen. Diese Fremdatome wirken als Akzeptoren. Bei Fe und Ni wurden ihre magnetische Momente bestimmt und ihre Rolle als Akzeptoren in CdSb erklärt. Die Fremdatome Mn und La sind wahrscheinlich in ähnlicher Weise als Akzeptoren in das CdSb-Gitter eingebaut, grösstenteils aber bilden sie mit Sb eine neue Phase, die stark paramagnetisch ist.

Es wurde die magnetische Suszeptibilität der CdSb-Proben am Schmelzpunkt gemessen. Auf Grund der Vorstellung, dass flüssiges CdSb metallisch ist, wurde die Suszeptibilitätsänderung beim Schmelzen erklärt und die Suszeptibilität des flüssigen CdSb abgeschätzt.

In einer früheren Arbeit [1] wurde die magnetische Suszeptibilität des *p*-leitenden CdSb gemessen. Es zeigte sich, dass die Suszeptibilität anisotrop ist und dass die Fremdatome Ag als diamagnetische Akzeptoren wirken. Dabei wurde die mögliche Erklärung der Struktur des Valenzbandes angedeutet. Diese Arbeit soll als Beitrag zur Erklärung der Rolle von Fremdatomen Mn, Fe, Ni und La in CdSb auf Grund der Messungen der Suszeptibilität und der Hallkonstante bei 77° bis 300 °K und zur Erklärung der Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität von CdSb in der Nähe des Schmelzpunktes dienen [2, 3].

1. Suszeptibilität von CdSb mit Fremdatomen Mn, Fe, Ni und La

Mit Ag, Mn, Fe, Ni und La legierte CdSb-Proben wurden mit der früher veröffentlichten Methode vorbereitet [4]. Als Ausgangsmaterial diente das *p*-leitende CdSb mit der Akzeptorenkonzentration $3 \cdot 10^{16}$ cm^{-3}. Die Messungen an den mit Ag legierten Proben waren deshalb nötig, um den Beitrag der paramagnetischen Fremdatome von der Gesamtsuszeptibilität abtrennen zu können.

Auf Grund der Messung der Hallkonstante wurde festgestellt, dass alle Fremdatome in CdSb als Akzeptoren wirken. Unter der Voraussetzung, dass jeder Akzeptor ein Elektron auffangen kann, wurde in einzelnen Proben die Konzentration bestimmt: $7 \cdot 10^{17}$ cm^{-3} Ag, $4 \cdot 10^{17}$ cm^{-3} Mn, $9 \cdot 10^{17}$ cm^{-3} Fe, $1 \cdot 10^{18}$ cm^{-3} Ni und $7 \cdot 10^{16}$ cm^{-3} La. Die Ergebnisse der Messung der Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität sind in Figur 1 und 2 dargestellt, und diese Resultate zeigen, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen CdSb legiertem mit Fe und Ni und den Proben mit Mn und La existiert.

Weil die Suszeptibilität von CdSb anisotrop ist, benützte man zur Messung die pulverförmigen Proben. Unter der Voraussetzung, dass die kristallographische

Orientation einzelner Kristallchen im Pulver zufällig ist und dass nur diamagnetische Akzeptoren z. B. Ag anwesend sind, kann man die gemessene Suszeptibilität nach [1] folgendermassen ausdrücken:

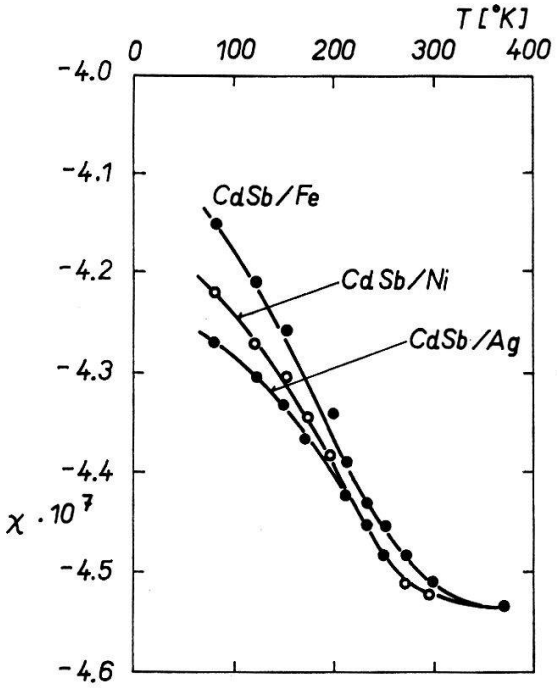
$$\chi_0 = \frac{1}{3}\left[\chi_{a,G} + \chi_{b,G} + \chi_{c,G} + p\,(\alpha_a + \alpha_b + \alpha_c)\right]. \tag{1}$$

Hier bedeutet $\chi_{a,G}$, $\chi_{b,G}$, $\chi_{c,G}$ die Komponenten der Gittersuszeptibilität von CdSb in der Richtung der Kristallachsen, p die Löcherkonzentration und α_a, α_b, α_c die Konstanten, die von der Temperatur abhängig sind. Im Falle des CdSb sind die Konstanten α_i für die Temperatur 77 °K bekannt [1]. Bei dieser Temperatur ist die Suszeptibilität von CdSb, das mit Ag ($p = 7 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}) legiert ist, $\chi_0 = -4{,}27 \cdot 10^{-7}$. Die nach (1) berechnete Suszeptibilität ist $\chi_0 = -4{,}48 \cdot 10^{-7}$ und ist im guten Einklang mit dem gemessenen Wert. Wenn man die diamagnetischen Akzeptoren durch die paramagnetischen in derselben Konzentration ersetzt, gilt für die Suszeptibilität der pulverförmigen Probe folgende Formel:

$$\chi = \frac{1}{3}\left[\chi_{a,G} + \chi_{b,G} + \chi_{c,G} + p\,(\alpha_a + \alpha_b + \alpha_c)\right] + \frac{p\,n_{ef}^2\,\mu_B^2}{3\,\varrho\,k\,T} = \chi_0 + \frac{p\,n_{ef}^2\,\mu_B^2}{3\,\varrho\,k\,T}. \tag{2}$$

Hier bedeutet n_{ef} die Zahl der Bohrschen Magnetone μ_B des paramagnetischen Akzeptores und ϱ die Dichte des Halbleiters. Der paramagnetische Beitrag ist dann $\Delta\chi = \chi - \chi_0$ und aus seiner Temperaturabhängigkeit kann man n_{ef} des gegebenen Fremdatoms bestimmen.

Die Analyse der Kurven aus Figur 1 ermöglicht die Bestimmung der effektiven Zahl n_{ef} für Fremdatome Fe und Ni. Experimentelle Werte sind $n_{ef} = 5{,}55$ bzw. $n_{ef} = 3{,}36$ und entsprechen höchstwahrscheinlich den Werten für Ionen Fe^{2+} bzw. Ni^{2+}, für welche Kittel [5] $n_{ef} = 5{,}40$ bzw. $n_{ef} = 3{,}2$ anführt.

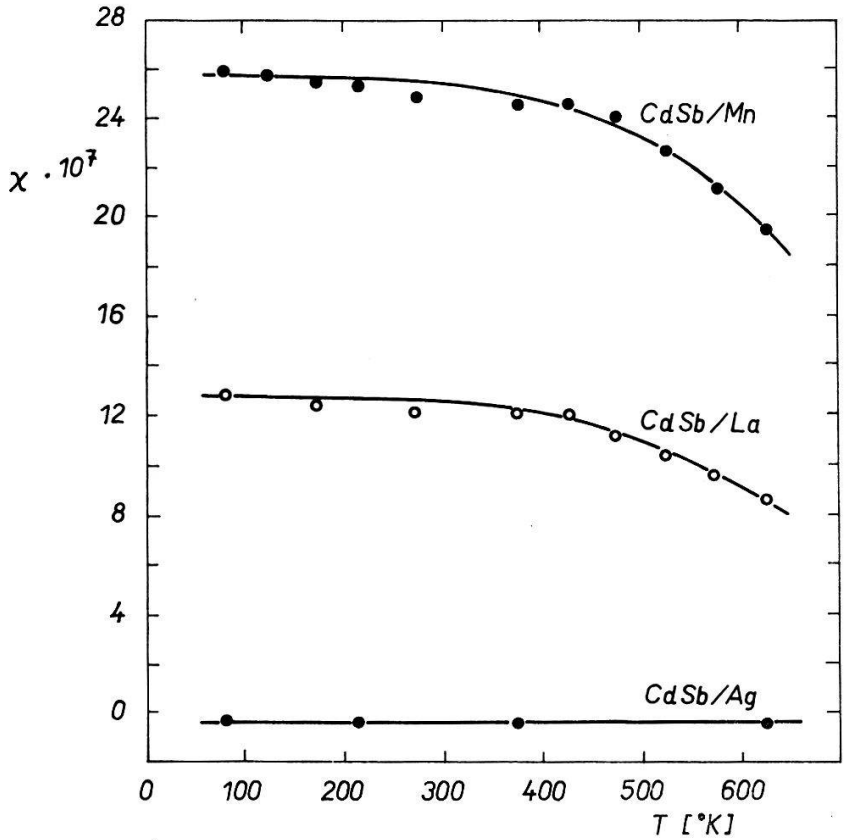


Figur 1

Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität des mit Ag und Ni legierten CdSb.

Auf Grund dieses Ergebnisses kann man voraussetzen, dass die Fremdatome Fe oder Ni im CdSb-Gitter die Sb-Atome substituieren. Beide Fremdatome tragen zur Bildung der kovalenten Bindung mit zwei 4*s*-Elektronen bei. Dadurch sind fünf Valenzelektronen in der Bindung des Antimons mit der Umgebung nur teilweise ersetzt und deshalb wirken Fe- und Ni-Atome als Akzeptoren.

Die in Figur 2 angegebenen Ergebnisse konnten doch nicht in ähnlicher Weise analysiert werden. Es scheint wahrscheinlich zu sein, dass die Mn- oder La-Atome teilweise im CdSb-Gitter in ähnlicher Weise wie Fe und Ni eingebaut sind. Grösstenteils aber bilden diese Atome im CdSb mit dem Antimon eine neue Verbindung, die stark paramagnetisch ist. Diese Verbindung ist in Form der mikroskopischen Inseln in CdSb eingebaut, die im wesentlichen das Eutektikum dieser Verbindung mit CdSb sind. Ähnliches Verhalten wurde schon am mit Mn legierten InSb beobachtet [6].



Figur 2

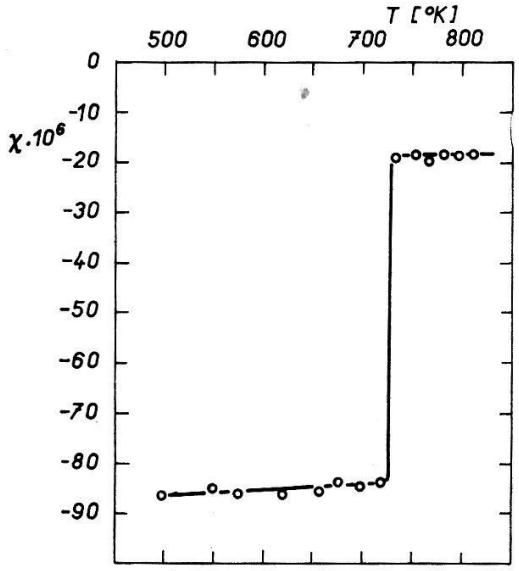
Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität des mit Ag, La und Mn legierten CdSb.

2. Die Suszeptibilität des flüssigen CdSb

Die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität von der *n*- und *p*-leitenden CdSb-Proben wurde in der Nähe des Schmelzpunktes gemessen. Die an verschiedenen Proben gemessenen Ergebnisse waren übereinstimmend, und eine typische Abhängigkeit ist in Figur 3 dargestellt. Sie zeigt, dass sich die Suszeptibilität am Schmelzpunkt sprungweise ändert, dass diese Änderung paramagnetisch ist und dass die Suszeptibilität des flüssigen CdSb temperaturunabhängig ist.

Die paramagnetische Änderung am Schmelzpunkte kann man auf Grund der Vorstellung erklären, dass CdSb im flüssigen Zustande metallisch ist, d.h. diese

Phase aus Cd^{2+}- und Sb^{5+}-Ionen und aus freien Elektronen gebildet ist. Bei der Temperatur des Schmelzpunktes muss sich die Elektronenkonzentration um einige Ordnungen sprungweise erhöhen. Gleichzeitig ändert sich sprungweise auch die Suszeptibilität, und diese Änderung muss paramagnetisch sein, weil die Suszeptibilität des Elektronengases paramagnetisch ist.



Figur 3

Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität der p-leitenden CdSb-Probe am Schmelzpunkt.

Diese Vorstellung ermöglicht auch die Abschätzung der molaren Suszeptibilität des flüssigen CdSb. Sie ist gegeben als die Summe der Beiträge von Cd^{2+}- und Sb^{5+}-Ionen χ_{ion} und der freien Elektronen χ_{el}. Es gilt: $\chi = \chi_{ion} + \chi_{el}$. Der Beitrag χ_{ion} wurde mittels der Slaterschen semiempirischen Methode [7] und der Beitrag χ_{el} mittels der Theorie der freien Elektronen berechnet:

$$\chi_{el} = \frac{2}{(3\,\pi^2)^{2/3}} \frac{\mu_B\, m L^{1/3}}{\hbar^2} \left(\frac{M}{\varrho}\right)^{2/3} x^{1/3} . \tag{3}$$

Hier bedeutet μ_B das Bohrsche Magneton, m die Ruhemasse des Elektrons, L die Avodagrosche Zahl, M die Molekularmasse des CdSb, ϱ seine Dichte im flüssigen Zustand und x die Zahl der Valenzelektronen in der CdSb-Moleküle. Die gemessene molare Suszeptibilität des flüssigen CdSb $\chi = -18{,}4 \cdot 10^{-6}$ stimmt mit dem berechneten Wert $-23{,}9 \cdot 10^{-6}$ überein. Diese Ergebnisse entsprechen den Resultaten anderer Autoren [8].

Literaturverzeichnis

[1] M. Matyáš, Czech. J. Phys. B *17*, 227 (1967).
[2] M. Matyáš, M. Klígl, Czech. J. Phys. B *18*, 376 (1968).
[3] M. Matyáš, Czech. J. Phys. B *18*, 647 (1968).
[4] K. Šmirous, A. Hrubý, J. Beránková, Czech. J. Phys. B *12*, 796 (1962).
[5] Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (John Wiley, New York 1957), p. 147.
[6] A. Müller, M. Wilhelm, J. phys. Chem. Solids *26*, 2021 (1965); H. Wagini, M. Wilhelm, Z. Naturf. *21a*, 329 (1966).
[7] J. C. Slater, Phys. Rev. *36*, 57 (1930).
[8] J. E. Enderby, L. Walsh, Phys. Lett. *14*, 9 (1965); Phil. Mag. *14*, 991 (1966).