

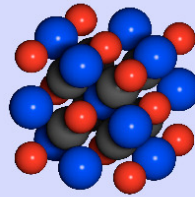
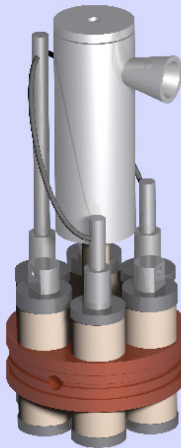


Malte A. Kurfiß (Autor)

Präparation und Charakterisierung von Ni₂MnIn-Filmen

Malte A. Kurfiß

Präparation und Charakterisierung von Ni₂MnIn-Filmen



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2612>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Kapitel 1

Einleitung

In herkömmlichen elektronischen Bauteilen ist der Träger der Information die Ladung. Ein neuer Ansatz in der Elektronik nutzt den Spin der Elektronen anstelle der Ladung als Informationsträger. Dieser neue Bereich der Elektronik wird *Spintronic* genannt [Wol01, Gru02, Win04].

Der Elektronen-Spin, als Ursache des Ferromagnetismus, wird schon seit langer Zeit zum Speichern von Information auf magnetischen Medien genutzt. Spinpolarisierte Ströme als Informationsträger werden erst seit relativ kurzer Zeit verwendet. Die ersten Spintronic-Bauelemente basieren auf dem 1988 entdeckten Riesenmagnetowiderstandseffekt (*giant magnetoresistance*, GMR) [Bai88]. In einem GMR-Bauelement werden ferromagnetische Schichten aufeinander aufgebracht. Ist die in der Ebene liegende Magnetisierung der Schichten parallel zueinander, ist der Widerstand senkrecht zum Schichtsystem klein. Ist die Magnetisierung der Schichten antiparallel, erhöht sich der Widerstand durch spinabhängige Streuung. Der GMR-Effekt beziehungsweise der verwandte Tunnelmagnetowiderstand (TMR) werden seit einigen Jahren in Festplattenleseköpfen und seit neuestem in magnetischen Speicherzellen, den *MRAMs* (*magnetic random access memory*), eingesetzt.

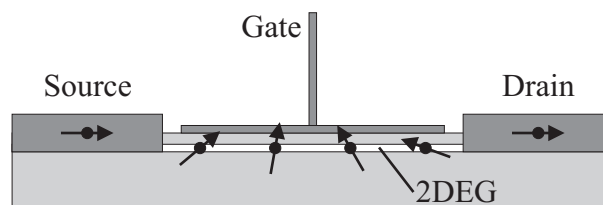


Abbildung 1.1: Im Spintransistor [Dat90] fließt ein spinpolarisierter Strom von der *Source*-Elektrode durch ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG) zur *Drain*-Elektrode. Mit einer *Gate*-Elektrode wird die Präzession der Elektronen im Halbleiter gesteuert. Abhängig von der Spinausrichtung der Elektronen an der Grenzfläche zur *Drain*-Elektrode verändert sich die Leitfähigkeit des Transistors.

Mit dem Spin-Transistor haben S. Datta und B. Das 1990 [Dat90] eine Kombination aus ferromagnetischen Materialien und Halbleitern vorgeschlagen (siehe Abbildung 1.1). Der Strom wird im Spin-Transistor von einer ferromagnetischen, spinpolarisierten *Source*-Elektrode in ein zweidimensionales Elektronengas in den Halbleiter injiziert. Ist die Spinrichtung parallel beziehungsweise antiparallel zum Strom, so präzediert der Spin durch die Spin-Bahn-Wechselwirkung. Die Präzessionsfrequenz kann über eine *Gate*-Elektrode beeinflusst werden. Da die *Drain*-Elektrode ebenfalls aus einem Material mit spinpolarisierten Ladungsträgern besteht, hängt die Transmissionswahrscheinlichkeit vom Halbleiter in die ferromagnetische Elektrode von der Ausrichtung des Spins ab. Ist der transportierte Spin parallel zum Spin in der *Drain*-Elektrode ausgerichtet, so ist die Transmissivität maximal, ist der Spin antiparallel ausgerichtet, ist sie minimal.

Ein vielversprechendes Halbleitermaterial für die Realisierung des Spin-Transistors ist Indiumarsenid, da die Spin-Bahn-Wechselwirkung und damit die Spinpräzession groß ist. Als spinpolarisiertes Elektrodenmaterial für die Spininjektion in InAs wurde von Kilian et al. die Heusler-Legierung Ni_2MnIn vorgeschlagen [Kil00]. Die Gitterkonstante von Ni_2MnIn weicht nur 0,2 % von der Gitterkonstante von Indiumarsenid ab [Wea89, Web69], so daß gitterangepaßtes Wachstum möglich ist. Berechnungen der Bandstruktur an der Grenzfläche zu InAs sagen eine Spinpolarisation von 100 % voraus [Kil00, Kil01].

In meiner Doktorarbeit habe ich mich mit der Präparation und der Charakterisierung von Ni_2MnIn Schichten befaßt. Im zweiten Kapitel werden die Eigenschaften von Heusler-Legierungen im allgemeinen und Ni_2MnIn im Besonderen beschrieben. Dabei wird auf die magnetischen Eigenschaften und die damit

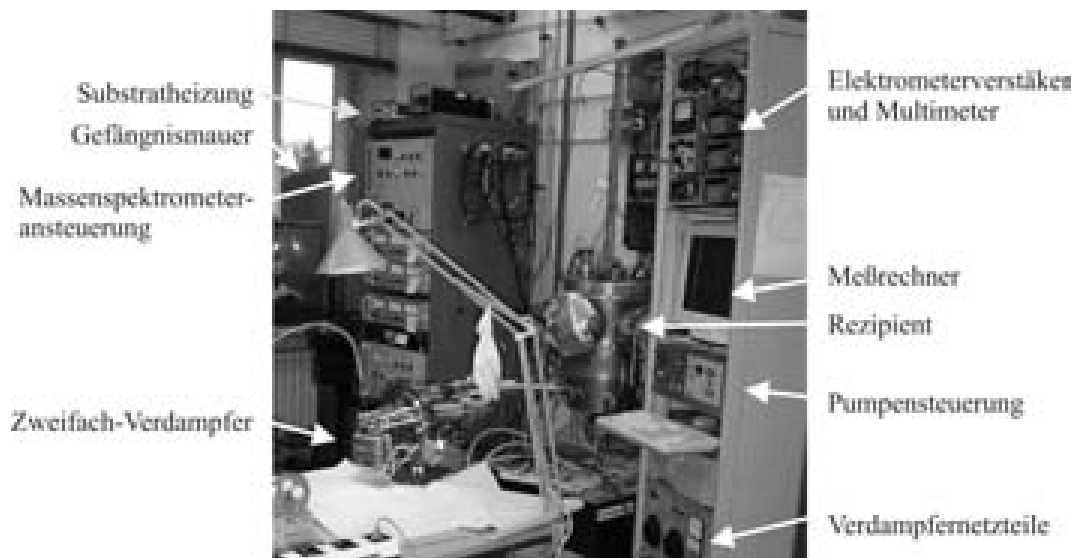


Abbildung 1.2: Aufdampfanlage für magnetische Legierungen am Institut für Angewandte Physik, Universität Hamburg, im März 2004.

verbundene Spinpolarisation der Leitungselektronen eingegangen. Die Präparation der Schichten durch Verdampfen der Ausgangsmaterialien wird im dritten Kapitel erläutert. Zum Einsatz sind zwei verschiedene Verdampfertechniken gekommen, ein Elektronenstoß-Dreifach-Verdampfer und ein indirekt durch Elektronenstoß geheizter Zweifach-Verdampfer. Im Kapitel 5 werden die Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Untersuchungen gezeigt. Mit Hilfe von Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie wurde die Morphologie, die kristalline Struktur und mittels der Röntgen-Spektroskopie die Stöchiometrie der Proben untersucht. Das Kapitel 6 befaßt sich mit den magnetischen Eigenschaften der Heusler-Proben. Die magnetischen Eigenschaften der Proben dienen als Kontrolldaten für die Präparation. Im siebten Kapitel werden Transportmessungen an Ni_2MnIn -Filmen gezeigt. Mit der Punktkontakt-Andreev-Spektroskopie wird die Spinpolarisation der Schichten gemessen. Die Auswertung der Meßdaten ergeben einen hohen Spinpolarisationsgrad, der deutlich über dem konventioneller Ferromagnete liegt.

Kapitel 2

Heusler-Legierungen

2.1 Halbmetallische Ferromagnete

1983 stellten R. A. de Groot et al. am Beispiel von Bandstruktur-Rechnungen der Halb-Heusler-Legierung NiMnSb eine neue Klasse von Materialien vor, die sie „halbmetallische Ferromagnete“ nannten [dG83]. Halbmetallische Ferromagnete zeichnen sich dadurch aus, daß nur die Elektronen einer Spin-Ausrichtung metallisches Verhalten zeigen, die Elektronen mit umgekehrtem Spin hingegen eine Bandlücke aufweisen. In einem nicht magnetischen Metall, wie zum Beispiel Aluminium oder Gold, sind die „Spin-up“ und „Spin-down“ Zustände identisch. In einem Ferromagneten hebt die Austauschwechselwirkung die Entartung der Spin-up und Spin-down Elektronen in der Energie auf [Pic01]. Ist für die eine Spin-Richtung das Band teilweise gefüllt und liegt für die andere Spin-Richtung das Band vollständig unterhalb der Fermi-Kante, so spricht man von einem halbmetallischen Ferromagneten (siehe Abbildung 2.1). Die Ladungsträger des nicht vollständig gefüllten Bandes sind in der Minderzahl und werden folglich Minoritätsladungsträger genannt, die des gefüllten Bandes Majoritätsladungsträger. Den Minoritätsträgern die Spin-up und den Majoritätsträgern die Spin-down Elektronen zuzuordnen ist eine Konvention.

Das magnetische Moment der Einheitszelle von halbmetallischen Ferromagneten ist ein nahezu ganzzahliges Vielfaches des Bohrschen Magnetons μ_B . Das Spin-down Band ist mit N_\downarrow Zuständen voll besetzt, zum Beispiel einem Elektron pro Einheitszelle. Da es pro Einheitszelle eine ganzzahlige Anzahl an Valenzelektronen $N = N_\uparrow + N_\downarrow$ gibt, ist die Anzahl an besetzten Zuständen im teilweise gefüllten Spin-up Band $N_\uparrow = N - N_\downarrow$ ebenfalls ganzzahlig. Da das magnetische Moment M aus der Differenz der besetzten Zustände mit entgegengesetztem Spin entsteht, ist es ein ganzzahliges Vielfaches des Bohrschen Magnetons μ_B [Pic01]

$$M = (N_\uparrow - N_\downarrow)\mu_B. \quad (2.1)$$

Eine geringe Abweichung vom ganzzahligen Vielfachen von μ_B entsteht durch die