

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
2	Experimentelles	19
2.1	Probenpräparation und -charakterisierung	19
2.2	Versuchsaufbau	27
2.2.1	Apparatur zur DC-Leitfähigkeitsmessung	27
2.2.2	Apparatur zur AC-Suszeptibilitätsmessung und AC-Leitfähigkeitsmessung	29
3	Theoretische Grundlagen	33
3.1	Leitfähigkeit	33
3.1.1	Leitfähigkeit in einem Metall	33
3.1.2	Leitfähigkeit in einem Halbleiter	35
3.2	Magnetowiderstand	39
3.3	Suszeptibilität	41
3.4	Supraleitung	42
3.5	Supraleitung in dünnen Schichten	51
3.5.1	Größeneffekt	51
3.5.2	Granularität	54
3.5.3	Kopplungseffekt	55
3.5.4	Andreev-Reflexion	58
3.5.5	Erhöhung des kritischen Magnetfeldes	59
3.5.6	Winkelabhängigkeit des kritischen Magnetfeldes	61

4	Ergebnisse	65
4.1	Leitfähigkeitsuntersuchungen	65
4.1.1	Kritische Temperatur T_c	68
4.1.2	Kritisches Magnetfeld B_c	70
4.1.3	Magnetowiderstand	72
4.1.4	Strom–Spannungs–Kennlinien	79
4.2	Suszeptibilitätsmessung	80
5	Diskussion	83
5.1	Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit	83
5.2	Magnetowiderstand	85
5.3	Übergangstemperatur T_c zur Supraleitung	86
5.4	Kritisches Magnetfeld B_c	93
5.5	Winkelabhängigkeit des kritischen Magnetfeldes B_c	95
5.6	Strom–Spannungs–Kennlinien	98
5.7	Probenstabilität	101
6	Zusammenfassung	103
	Literaturverzeichnis	113
	Danksagung	115
	Publikationsliste	117
	Lebenslauf	119

Abbildungsverzeichnis

2-1	Kristallstruktur der i.) α -Phase ($a=6,49 \text{ \AA}$) und der ii.) β -Phase ($a=5,83 \text{ \AA}$, $c=3,18 \text{ \AA}$).	19
2-2	Kristallstruktur der (110)-Spaltfläche von InSb (blau-In, rot-Sb)	20
2-3	Maske zu Durchführung von Widerstandsmessungen	22
2-4	LEED-Aufnahmen von Sn auf InSb bei verschiedenen Bedeckungen [11] .	22
2-5	Relative Intensität des AES-Signal von In und Sb mit steigender Sn-Bedeckung [11]	23
2-6	Raman-Spektren von Sn auf InSb bei verschiedenen Schichtdicken von 37 ML (5,9 nm) bis 430 ML (67,7nm) [11]	24
2-7	AFM-Aufnahme von Sn-Schichten auf InSb mit unterschiedlicher Schichtdicke [a.) 7,86 nm, b.) 39,3 nm, c.) 63,6 nm und d.) 95,5 nm] [11].	26
2-8	VTI-Probenhalter	27
2-9	Bestimmung und Einstellung der verschiedenen Winkel zwischen der c-Achse und dem äußeren Magnetfeld	28
2-10	Meßprinzip zur Bestimmung der Leitfähigkeit	29
2-11	Meßprinzip zur Bestimmung der Suszeptibilität	29
2-12	PPMS-Probenhalter für die Leitfähigkeitsmessung	32
3-1	Schematische Darstellung der Temperaturabhängigkeit des Widerstands in einem Metall	34
3-2	Schematische Darstellung a.) der Ladungsträgerkonzentration $n(T)$ im Leitungsband und b.) der qualitativen Lage der Fermi-Energie $E_F(T)$ in Abhängigkeit von der Temperatur in einem Halbleiter.	36

3-3	Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Beweglichkeit μ von der Temperatur in einem Halbleiter	39
3-4	Schematische Darstellung von i.) der Bahn eines freien Elektrons im Magnetfeld und ii.) der Bahn des Elektrons, die durch ein periodisches Gitterpotentials an der Zonengrenze (ZG) getrennt wird	40
3-5	Typ-I-Supraleiter i.) Magnetisierung und ii.) kritisches Magnetfeld in Abhängigkeit von der Temperatur	43
3-6	Typ-II-Supraleiter i.) Magnetisierung und ii.) kritisches Magnetfeld in Abhängigkeit von der Temperatur	46
3-7	Schematische Darstellung der Elektron-Elektron-Wechselwirkung über virtuelle Phononen	46
3-8	Schematische Darstellung der Subnikov-Phase eines Typ-II-Supraleiters .	48
3-9	Magnetfeldverteilung in einer supraleitenden Kugel	48
3-10	Magnetfeldverteilung in einer stabförmigen Probe senkrecht zum äußeren Magnetfeld	50
3-11	Bestimmung der mittleren freien Weglänge l einer dünnen Schicht [49] . .	53
3-12	Vereinfachte Darstellung i.) der Größe und Verteilung der Zinn-Inseln und ii.) der Breite des supraleitenden Übergangs im Widerstandsverlauf . . .	55
3-13	schematischer Verlauf der Paaramplitude an einer N-S-Grenzfläche	56
3-14	Schematische Darstellung der Andreev-Reflexion an einer N-S-Grenzfläche	58
3-15	Dünne Schicht parallel zum angelegten äußeren Magnetfeld [43]	59
3-16	Schematische Darstellung der Stromverteilung einer Schicht parallel und senkrecht zum äußeren Magnetfeld. [66]	63
4-1	Spezifischer Widerstand des Indiumantimonid-Substrats im Temperaturbereich 0 K - 300 K bei 0 T	65
4-2	Widerstand der β -Sn-Folie ($d = 5 \mu\text{m}$) im Temperaturbereich 0 K - 300 K bei 0 T	66
4-3	Widerstandsverlauf der Probe #81 ($d = 103,4 \text{ nm}$) im Temperaturbereich 0 K - 300 K bei 0 T	67

4-4 Normierte Widerstandskurven, die den supraleitenden Übergang der verschiedenen Proben zeigen (#92: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm), #97: Sn auf InSb ($d = 63,3$ nm), #81: Sn auf InSb ($d = 103,4$ nm), sowie #88: reines InSb und #91: Sn auf InSb ($d = 7,86$ nm) 69

4-5 Kritisches Feld der verschiedenen Proben [a.) errechnete Werte für Volumenzinn, b.) #81: Sn auf InSb ($d = 103,4$ nm), c.) # 97: Sn auf InSb ($d = 63,3$ nm), d.) #92: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm), e.) #82: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm)] in der Orientierung $B \perp c$ -Achse. Die durchgezogenen Linien sind Anpassungskurven entsprechend Gl. (3.22) 70

4-6 Das kritische Magnetfeld der Probe #97 bei verschiedenen Winkeln zwischen äußerem Magnetfeld und der c -Achse der Schicht. Die durchgezogenen Linien sind Anpassungskurven entsprechend Gl. (3.22). 71

4-7 Widerstandsverlauf in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld $B \parallel c$ -Achse der Probe #92 ($d = 39,3$ nm) bei verschiedenen Temperaturen. Mit B^* , bei dem die Sättigung des Magnetowiderstandes eintritt. 74

4-8 Widerstandsverlauf in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld $B \perp c$ -Achse der Probe #92 ($d = 39,3$ nm) bei verschiedenen Temperaturen 75

4-9 Widerstandsverlauf in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld $B \parallel c$ -Achse der Probe #97 ($d = 63,3$ nm) bei verschiedenen Temperaturen 77

4-10 Widerstandsverlauf in Abhängigkeit vom äußeren Magnetfeld $B \perp c$ -Achse der Probe #97 ($d = 63,3$ nm) bei verschiedenen Temperaturen 78

4-11 U-I-Kennlinie der Probe #97: Sn auf InSb ($d = 63,3$ nm) in logarithmischer Auftragung bei verschiedenen Temperaturen 79

4-12 U-I-Kennlinie der Probe #92: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm) in logarithmischer Auftragung bei verschiedenen Temperaturen 80

4-13 Komplexe Massensuszeptibilität χ'_g in Abhängigkeit von der Temperatur der beiden Zinnproben (#90=Zinnfolie, #102=Zinngranulat) 81

4-14	Realteil des magnetischen Moments $m' \cdot 10^{-6}$ (<i>emu</i>) in Abhängigkeit von der Temperatur der verschiedenen dicken Schichten [#82: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm), #95: Sn auf InSb ($d = 63,3$ nm), #81: Sn auf InSb ($d = 103,4$ nm)]	82
5-1	Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit des InSb-Substrats	83
5-2	Schematische Darstellung der elektrischen Schaltung der einzelnen Schichtkomponenten	84
5-3	Abhängigkeit der Breite des supraleitenden Überganges ΔT von der nominellen Schichtdicke d (– :lineare Anpassungskurve)	90
5-4	Abhängigkeit der Übergangstemperaturen T_c von der nominellen Schichtdicke d [i.) : T_c -Werte aus den Widerstandsmessungen über eine Mikrobrücke, ii.) : T_c -Werte aus den 4-Punkt-Widerstandsmessungen und iii.) : T_c -Werte aus den Suszeptibilitätsmessungen]	91
5-5	Abhängigkeit des kritischen Magnetfeldes B_c von der Schichtdicke d [a.) c-Achse \perp zum äußeren Magnetfeld und Messung über die Mikrobrücke, b.) c-Achse \perp zum äußeren Magnetfeld und Bestimmung mit der 4-Punkt-Widerstandsmessung, c.) c-Achse \parallel zum äußeren Magnetfeld und Messung über die Mikrobrücke]	94
5-6	Kritisches Magnetfeld in Abhängigkeit vom Winkel zwischen dem äußeren Magnetfeld und der c-Achse der Schicht [□- #92: Sn auf InSb ($d = 39,3$ nm), Δ - #97: Sn auf InSb ($d = 63,3$ nm)]. Die durchgezogenen Linien sind Anpassungskurven entsprechend Gl. (3.57).	95
5-7	Vergleich der Schichtdickenabhängigkeit der Eindringtiefe λ mit Literaturdaten (●: aus (Tab. 5.4) bei $T_{Kond} = 300$ K mit $0,5$ nm/s, ▲: Sn auf Glas - $T_{Kond} = 300$ K [97], ▼: Sn auf Glas - $T_{Kond} = 77$ K mit 1 nm/s [69], ■: Sn auf Glas - $T_{Kond} = 77$ K mit 30 nm/s [69])	97
5-8	Aus Abb. 2-7 abgeschätzte Inselgröße in Abhängigkeit von der nominellen Schichtdicke d	99

5-9 Temperaturabhängigkeit des kritischen Stroms I_c [linkes Teilbild: Probe #97 ($d = 63,3$ nm) rechtes Teilbild: Probe #92 ($d = 39,3$ nm)], die durchgezogenen Linien stellt qualitativ die $\sqrt[3]{1 - (T/T_c)^2}$ -Abhängigkeit dar 100

5-10 Widerstandsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatur der Probe #97: Sn auf InSb ($d = 93.3$ nm), gemessen zu verschiedenen Zeitpunkten ($\bullet - 05.07.98$, $\circ - 22.12.99$) 101

Tabellenverzeichnis

2.1	Dicke d_{ML} einer Sn-Monolage auf InSb-(110)-Substrat	21
2.2	Übersicht einiger charakteristische Materialwerte[14][16]	21
3.1	Einige Entmagnetisierungsfaktoren für verschiedene Probenformen	49
3.2	Charakteristische Längen eines Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur T und der mittleren freien Weglänge l [34]	52
3.3	Charakteristische Längen des Kopplungseffekts mit und ohne Verunreinigung	56
4.1	Übersicht über die untersuchten Zinnschichten	68
5.1	Experimentell bestimmte Werte des Magnetfeldes B^* , bei dem der magnetische Zusammenbruch stattfindet, für verschieden dicke Schichten	85
5.2	Übersicht $B_c(0)$ der Zinnschichten in der Orientierung $B \perp c$ -Achse	93
5.3	Experimentell bestimmter Ginzburg-Landau-Parameter κ für verschieden dicke Schichten	96
5.4	Experimentell bestimmte charakteristische Längen d_{er}, ξ, λ für verschieden dicke Schichten	96

