

Dipl.-Ing. Rhena Krawietz, Kurort Hartha

**Untersuchung von  
thermisch behandelten  
Ni/C-Nanometerschichten  
mit Röntgenmethoden**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe Nr. **515**

# Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis .....	VII
Abkürzungsverzeichnis .....	X
1. Motivation und Aufgabenstellung .....	1
2. Multischichten mit Schichtdicken im Nanometerbereich.....	3
2.1. Periodisch modulierte Schichten.....	3
2.2. Aufbau, Anwendungen und Eigenschaften von Ni/C-Multischichten .....	6
3. Festkörperreaktionen in Ni/C-Multischichten .....	8
3.1. Besonderheiten von Festkörperreaktionen in periodisch modulierten Schichten .....	8
3.2. Freie Energie und Grenzflächenenergie von periodisch modulierten Schichten .....	9
3.3. Diffusion in periodisch modulierten Schichten.....	13
3.4. Das Stoffsystem Ni-C.....	16
3.5. Phasenbildung und Grenzflächen in Ni/C-Multischichten.....	19
3.6. Mechanische Energie von Ni/C-Multischichten und Relaxation innerer Spannungen .....	23
3.7. Die Änderung der Freien Energie bei Festkörperreaktionen in Ni/C-Multi- schichten.....	33
3.8. Morphologische Instabilität der Nickelschichten.....	35
4. Theoretische Grundlagen der Charakterisierung dünner Schichten mit Röntgen- methoden.....	40
4.1. Übersicht über Methoden zur Charakterisierung dünner Schichten mit Röntgenstrahlung .....	40
4.2. Berechnung von Reflexionsvermögen und Fluoreszenzertrag einer Multi- schicht.....	42
4.3. Der Einfluß von Störungen auf das Reflexionsvermögen und den Fluoreszenz- ertrag.....	48
4.4. Die Programme TR und RFAV .....	54
4.5. Die röntgenoptischen Stoffkonstanten und die Dichte von Schichtmaterialien.....	55
4.6. Die Bestimmung von Schichtdicken und Dichten mit Reflektometrie .....	60
4.7. Die Bestimmung von Atomabständen und Koordinationszahlen aus Fluoreszenz-EXAFS-Messungen .....	62
5. Probenpräparation .....	65
5.1. Die Herstellung der Schichtproben mit dem PLD-Verfahren .....	65
5.2. Thermische Behandlung.....	69
6. Reflektometrische Charakterisierung von Kohlenstoffschichten, C/Ni/C-Schichten und Ni/C-Multischichten .....	70
6.1. Meßaufbau.....	70
6.2. Substrate .....	71

6.3.	Kohlenstoffschichten .....	72
6.4.	C/Ni/C-Schichten .....	76
6.5.	Ni/C-Multischichten .....	79
7.	In-situ Reflektometrie an Ni/C-Multischichten .....	95
7.1.	Experimentelles .....	95
7.2.	Die zeitliche Änderung von Reflexionsvermögen und Multischichtperioden- dicke .....	95
7.3.	Bestimmung von effektiven Interdiffusionskoeffizienten und der Akti- vierungsenergie.....	97
8.	Diffraktometrie bei streifendem Einfall an Kohlenstoffschichten und Ni/C-Multi- schichten .....	100
8.1.	Experimentelles .....	100
8.2.	Substrate .....	100
8.3.	Kohlenstoffschichten .....	101
8.4.	Ni/C-Multischichten .....	102
9.	Fluoreszenz-EXAFS mit Synchrotronstrahlung an Ni/C-Multischichten.....	107
9.1.	Experimentelles .....	107
9.2.	Ergebnisse an Ni/C-Multischichten im Ausgangszustand.....	108
9.3.	Ergebnisse an wärmebehandelten Ni/C-Multischichten.....	112
10.	Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung von Ni/C-Multischichten.....	114
10.1.	Probenpräparation und elektronenmikroskopische Abbildung .....	114
10.2.	Ergebnisse.....	114
10.3.	Fragmentation der Nickelschichten und Nickelsilizidbildung-Vergleich mit reflektometrischen Messungen .....	122
11.	Übersicht über thermisch angeregte Festkörperreaktionen in mittels PLD präparierten Ni/C-Multischichten .....	128
11.1.	Charakteristik der Ni/C-Multischichten im Ausgangszustand .....	128
11.2.	Das Verhalten der Ni/C-Multischichten im Temperaturbereich unterhalb von 150 °C.....	130
11.3.	Das Verhalten der Ni/C-Multischichten im Temperaturbereich zwischen 150 °C und 350 °C.....	130
11.4.	Das Verhalten der Ni/C-Multischichten im Temperaturbereich zwischen 350 °C und 400 °C.....	132
11.5.	Das Verhalten der Ni/C-Multischichten im Temperaturbereich oberhalb von 400 °C.....	133
11.6.	Schlußfolgerungen.....	133
12.	Zusammenfassung.....	135
	Literatur .....	139