

Diplomarbeit

im Fach Physik

Exzessenergiebeiträge und Korngrenzendiffusion in feinkörnigen Reinmetallen

vorgelegt von

Matthias Wegner

aus Iserlohn

Institut für Materialphysik
Westfälische Wilhelms-Universität
Münster
Februar 2010

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
I Exzessenergiebeiträge in nanokristallinem Palladium	7
2 Theoretische Grundlagen	9
2.1 Korngrenzen	9
2.1.1 Kleinwinkelkorngrenzen	11
2.1.2 Großwinkelkorngrenzen	13
2.1.3 Topologische Aspekte	16
2.1.3.1 2D Mikrostrukturen	17
2.1.3.2 3D Mikrostrukturen	18
2.1.4 Korngrenzenmigration	19
2.1.4.1 Kleinwinkelkorngrenzenmigration	21
2.1.4.2 Großwinkelkorngrenzenmigration	21
2.1.4.3 Thermisch aktivierte Korngrenzenmigration	25
2.2 Tripellinien	26
2.3 Quadrupolpunkte	28
2.4 Kornwachstum	29
2.4.1 Normales Kornwachstum	30
2.4.1.1 Kornwachstumskinetik nach Burke und Turnbull	30
2.4.1.2 Topologische Aspekte	32
2.4.1.3 Hillerts Theorie	34
2.4.1.4 Korngrößen Verteilungsfunktionen	34
2.4.2 Abnormales Kornwachstum	35
3 Experimentelle Methoden und Messungen	37
3.1 Inert-Gas-Kondensation (IGC)	38
3.2 Mikrokalorimetrie (TAM III)	40
3.2.1 Reproduzierbarkeit	42
3.3 Röntgendiffraktometrie (XRD)	44
3.4 Rückgestreute Elektronenbeugung (EBSD)	47
4 Einfluß verschiedener Korngeometrien auf die Analyse	49

4.1	Tetraakaidecahedron	49
4.2	Rhombrisches Dodekaeder	51
4.3	Vergleich beider Geometrien	52
5	Abschätzung der volumengewichteten Grenzflächenenergie	55
5.1	Positive Tripellinienenergien	55
5.2	Negative Tripellinienenergien	56
6	Resultate	59
6.1	Korrektur des Mikroverzerrungsenergiebeitrags	64
6.2	Bestimmung der Korngrenzenenergie	65
6.2.1	Fehlerabschätzung	66
6.3	Bestimmung der Tripellinienenergie	66
6.3.1	Fehlerabschätzung	68
7	Diskussion	69
7.1	Berechnung der volumengewichteten Grenzflächenenergie	73
7.2	Einfluß abnormalen Kornwachstums	74
7.3	Fazit und Ausblick	76
II	Korngrenzendiffusion in hochdrucktordiertem (HPT) Kupfer	79
8	Theoretische Grundlagen	81
8.1	Volumendiffusion	81
8.1.1	Fick'sche Gleichungen	81
8.1.1.1	Dünnschichtlösung	82
8.1.1.2	Fehlerfunktionslösung	82
8.2	Korngrenzendiffusion	84
8.2.1	Korngrenzendiffusion nach Fischer	84
8.2.1.1	Lösung von Whipple	86
8.2.1.2	Lösung von Suuoka	87
8.2.2	Korngrenzendiffusion in Polykristallen	88
8.2.3	Temperaturabhängigkeit der Korngrenzendiffusion in der Stadium C-Kinetik	91
9	Experimentelle Methoden	93
9.1	Hochdruck Torsion (HPT)	93
9.2	Radiotracer Methode	95
10	Probenvorbereitung und Charakterisierung	99
10.1	Ätzung, Schliff und Politur	99
10.2	EBSD Messungen	101

11 Diffusionsmessungen und Resultate	105
11.1 Korngrenzendiffusion von ^{63}Ni in HPT Kupfer	105
11.1.1 1 GPa hydrostatischer Druck	106
11.1.2 2 GPa hydrostatischer Druck	110
11.1.3 4 GPa hydrostatischer Druck	114
11.2 Arrhenius Beziehung	117
11.3 Berechnung der relativen Korngrenzenexzessenergien	119
11.3.1 Nichtgleichgewichts-Korngrenzenmodell nach Nazarov	120
11.4 Raumtemperaturpenetration von Silber in HPT Kupfer	121
11.5 Fehlerabschätzung	127
12 Diskussion	129
12.1 Diskussion der ^{63}Ni Messungen	129
12.2 Diskussion der ^{110m}Ag Messungen	132
12.3 Vergleich der Aktivierungsenthalpie der Korngrenzendiffusion mit der des ratendeterminierenden Prozesses des Kriechens	135
12.4 Fazit und Ausblick	135
13 Anhang: Ausgewählte Röntgendiffraktogramme der Pd-Probe	137
14 Literaturverzeichnis	141
15 Danksagung	145