

Kinetische Prozesse
in
Kupfer-Bi- und -Trikristallen

Diplomarbeit
Fachbereich Physik
Prof. Dr. Gerhard Wilde
Institut für Materialphysik
Naturwissenschaftliche Fakultät
Universität Münster

vorgelegt von
Isabelle Binkowski

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretische Grundlagen zu den Diffusionsexperimenten	5
2.1. Korngrenzen	5
2.1.1. Kleinwinkelkorngrenzen	6
2.1.2. Großwinkelkorngrenzen	8
2.1.3. $\Sigma 3$ Zwillingskorngrenzen	10
2.2. Tripellinien	10
2.3. Theoretische Beschreibung der Volumendiffusion	12
2.3.1. Fick'sche Gleichungen	12
2.4. Theoretische Beschreibung der Korngrenzendiffusion in Metallen	14
2.4.1. Korngrenzendiffusion nach Fischer	15
2.4.1.1. Die Lösung von Whipple	18
2.4.1.2. Die Lösung von Suzuoka	19
2.4.2. Diffusion in Polykristallen: Stadien von Harrison	21
2.4.3. Die Temperaturabhängigkeit der Korngrenzendiffusion	24
2.5. Die Grundlagen der Gleichgewichtssegregation	25
2.6. Einfluss der nichtlinearen Segregation auf die Form des Korngrenzendiffusionsprofils	27
3. Experimentelle Methoden und Durchführung der Diffusionsexperimente	30
3.1. Experimentelle Methoden	30
3.1.1. SEM und EBSD	30
3.1.2. Focused Ion Beam (FIB)	31
3.1.3. Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	31
3.2. Herstellung der speziellen Kupfer-Bi- und -Trikristalle	32
3.3. Vorbereitung der Proben	35
3.4. Die Radiotracermethode	38
4. Diffusionsmessungen und Resultate	42
4.1. Korngrenzendiffusion von Ag in einen Cu-Trikristall	42
4.1.1. Auswertung in der Stadium C-Kinetik	42
4.1.2. Auswertung der Messung des Trikristalls in der Stadium C-B-Kinetik	44

4.2.	Korngrenzendiffusion von Ag in einen Cu-Bikristall ($\Sigma 3$)	48
4.2.1.	Bestimmung des Dreierproduktes aus den Korngrenzendiffusionsprofilen	49
4.2.2.	Auswertung im Bezug auf zwei Facettierungen	50
5.	Diskussion	52
5.1.	Diffusionsmessungen am Trikristall	52
5.1.1.	Experimentelle Werte für die Korngrenzendiffusion	53
5.2.	Diffusionsmessungen am Cu-Bikristall ($\Sigma 3$)	56
5.2.1.	Experimentelle Werte für die Korngrenzendiffusion	57
5.2.2.	Untersuchungen zum Einfluss eines strukturellen Effektes auf die Korngrenzendiffusion	59
6.	Zusammenfassung	63
7.	Theoretische Grundlagen zur plastischen Deformation	66
7.1.	Mechanische Eigenschaften von Metallen	66
7.1.1.	Grundlagen der Elastizitätslehre	66
7.1.2.	Plastizität	68
7.1.3.	Mechanisches Verhalten von Metallen mit kubischer Kristallstruktur	69
7.1.3.1.	Versetzungen	69
7.1.3.2.	Versetzungsbewegung und Gleitsysteme	70
7.1.3.3.	Das Schmid'sche Schubspannungsgesetz	72
7.1.3.4.	Die Wechselwirkung zwischen Versetzungen	73
7.1.3.5.	Hindernisse und ihre Überwindung	75
7.1.3.6.	Mechanische Zwillingsbildung	76
7.1.3.7.	Härte- bzw. Deformationsstufen	76
7.1.4.	Festigkeit und Verformung von Polykristallen	77
7.1.5.	Der Zugversuch	78
8.	Experimentelle Methoden und Durchführung der Experimente	82
8.1.	Herstellung und Vorbereitung der Zugproben	82
8.1.1.	Probenherstellung und -geometrie	82
8.1.2.	Vier-Seiten-Politur	83
8.2.	Patterning	87
8.3.	Zugversuche	91
8.3.1.	Instron	91
8.3.2.	Miniatur-Zugmaschine (Eigenkonstruktion des IMP der Universität Münster)	92

9. Auswertung und Resultate	93
9.1. Die Wahl der Zugmaschine	93
9.1.1. Zugversuche mit der Instron	93
9.1.2. Zugversuche mit der Miniaturzugmaschine	103
9.2. Zugversuche	103
9.3. Die digitale Bild-Korrelation (Digital Image Correlation: DIC)	107
9.3.1. Auswertung der Cu-Bikristalle	109
9.3.2. Auswertung der Cu-Trikristalle	114
10. Diskussion	126
10.1. Zugversuche	126
10.2. Die Digitale Bild-Korrelation	127
10.2.1. Die Verformung der Cu-Bikristalle (mit $\Sigma 3$ -Korngrenze)	128
10.2.2. Die Verformung der Cu-Trikristalle	130
11. Zusammenfassung	136
A. Dehn- und Scherkomponenten der DIC	V
B. Literaturverzeichnis	XVI
C. Danksagung	XIX