

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Formelverzeichnis

IV

1	Einleitung	1
2	Grundlagen und aktueller Forschungsstand	5
2.1	Tribologie	5
2.1.1	Das tribologische System	5
2.1.2	Reibung	6
2.1.3	Verschleiß	8
2.1.4	Schmierung	9
2.1.5	Tribologie in beschichteten Kontakten	13
2.1.6	Das Dritte-Körper-Partikel-Modell	16
2.2	Hochleistungs-Impuls-Magnetron-Sputtern	21
2.2.1	Verfahrensprinzip und Grundlagen	22
2.2.2	Strom-Spannungs-Charakteristiken	28
2.2.3	Reaktives HiPIMS	34
2.2.4	Schichtbildungsprozesse und Wachstumskinetik von Dünnschichten	37
2.3	Molybdändisulfid Dünnschichten	43
2.3.1	Strukturelle Eigenschaften	43
2.3.2	Synthese und Schichtwachstum gesputterter MoS ₂ Dünnschichten	45
2.3.3	Tribologische Eigenschaften	48
2.4	Modifizierung von Molybdändisulfid Dünnschichten	53
2.4.1	Modifizierung mit metallischen Elementen	53
2.4.2	Modifizierung mit nicht-metallischen Elementen	57
2.5	Zusammenfassung	61
3	Zielsetzung, Forschungshypothesen und Vorgehensweise	63
4	Substrat, Schichtsynthese und -charakterisierung	67
4.1	Substratmaterial und Probenherstellung	67
4.2	Schichtsynthese	68
4.3	Analytische Methoden	70
4.3.1	Rasterelektronenmikroskopie	70
4.3.2	Röntgendiffraktion	71
4.3.3	Hochtemperaturtribometer	71
4.3.4	3D-Oberflächenprofilometrie	74
4.3.5	Resonante Raman-Spektroskopie	75
5	Strukturelle Eigenschaften der MoS_x(:X) Dünnschichten	77
5.1	Nicht-modifizierte MoS _x Dünnschicht	77

5.1.1	Chemische Zusammensetzung	77
5.1.2	Kristallorientierung, Morphologie und Topographie	78
5.1.3	Fazit	82
5.2	Stickstoffmodifizierte $\text{MoS}_x\text{:N}$ Dünnschichten	82
5.2.1	Chemische Zusammensetzung	82
5.2.2	Kristallorientierung, Morphologie und Topographie	83
5.2.3	Fazit	88
5.3	Kupfermodifizierte $\text{MoS}_x\text{:Cu}$ Dünnschichten	88
5.3.1	Chemische Zusammensetzung	88
5.3.2	Kristallorientierung, Morphologie und Topographie	90
5.3.3	Fazit	94
5.4	Vergleich der $\text{MoS}_x\text{(:X)}$ Dünnschichten und Zusammenfassung	95
6	Tribologische Eigenschaften der $\text{MoS}_x\text{(:X)}$ Dünnschichten	99
6.1	Nicht-modifizierte MoS_x Dünnschicht	100
6.1.1	Reib- und Verschleißverhalten	100
6.1.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	102
6.1.3	Fazit	104
6.2	Stickstoffmodifizierte $\text{MoS}_x\text{:N}$ Dünnschichten	105
6.2.1	Reib- und Verschleißverhalten	105
6.2.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	111
6.2.3	Fazit	115
6.3	Kupfermodifizierte $\text{MoS}_x\text{:Cu}$ Dünnschichten	115
6.3.1	Reib- und Verschleißverhalten	115
6.3.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	118
6.3.3	Fazit	126
6.4	Vergleich der $\text{MoS}_x\text{(:X)}$ Dünnschichten und Zusammenfassung	127
7	Belastungskollektivbedingte Effekte auf die tribologischen Eigenschaften	135
7.1	Nicht-modifizierte MoS_x Dünnschicht	136
7.1.1	Einfluss einer inerten Argon-Atmosphäre	136
7.1.1.1	Reib- und Verschleißverhalten	136
7.1.1.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	138
7.1.2	Einfluss der Normalkraft	140
7.1.2.1	Reib- und Verschleißverhalten	140
7.1.2.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	142
7.1.3	Einfluss der Temperatur	145
7.1.3.1	Reib- und Verschleißverhalten	145
7.1.3.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	147
7.1.4	Einfluss des Materials des Gegenkörpers	151

7.1.4.1	Reib- und Verschleißverhalten	151
7.1.4.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	153
7.1.5	Fazit	158
7.2	Stickstoffmodifizierte $\text{MoS}_x\text{:N(120)}$ Dünnschicht	161
7.2.1	Einfluss einer inerten Argon-Atmosphäre	161
7.2.1.1	Reib- und Verschleißverhalten	161
7.2.1.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	163
7.2.2	Einfluss der Normalkraft	164
7.2.2.1	Reib- und Verschleißverhalten	164
7.2.2.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	165
7.2.3	Einfluss der Temperatur	168
7.2.3.1	Reib- und Verschleißverhalten	168
7.2.3.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	170
7.2.4	Einfluss des Materials des Gegenkörpers	173
7.2.4.1	Reib- und Verschleißverhalten	173
7.2.4.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	176
7.2.5	Fazit	180
7.3	Kupfermodifizierte $\text{MoS}_x\text{:Cu(1,5)}$ Dünnschicht	183
7.3.1	Einfluss einer inerten Argon-Atmosphäre	183
7.3.1.1	Reib- und Verschleißverhalten	183
7.3.1.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	185
7.3.2	Einfluss der Normalkraft	185
7.3.2.1	Reib- und Verschleißverhalten	185
7.3.2.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	187
7.3.3	Einfluss der Temperatur	190
7.3.3.1	Reib- und Verschleißverhalten	190
7.3.3.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	191
7.3.4	Einfluss des Materials des Gegenkörpers	195
7.3.4.1	Reib- und Verschleißverhalten	195
7.3.4.2	Reibungsbestimmende Mechanismen	197
7.3.5	Fazit	201
7.4	Vergleich der $\text{MoS}_x\text{(:X)}$ Dünnschichten und Zusammenfassung	203
8	Zusammenfassung und Ausblick	213
9	Anhang	220
	Literaturverzeichnis	223