

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Sensoren in Dünnschichttechnik	5
2.1	Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1.1	Technologische Grundlagen	5
2.1.2	Beispiele für die Verwendung von Dünnschichtsensoren	8
2.2	Charakteristische Eigenschaften der Dünnschichtsensorik	12
2.3	Motivation dieser Arbeit	15
2.3.1	Technologische Bedeutung und Anwendungsmöglichkeiten in der Metrologie	15
2.3.2	Applikation von Dünnschichtsensoren auf metallischen Grundkörpern	17
2.3.2.1	Fehlerhafte elektrische Isolation dünner Schichten	19
2.3.2.2	Zielstellung dieser Arbeit	20
3	Abscheidung elektrisch isolierender Schichten	23
3.1	Abscheidungsverfahren für dielektrische Dünnschichten	23
3.1.1	CVD-Verfahren	24
3.1.2	PVD-Verfahren	25
3.1.2.1	Varianten zur Abscheidung von Oxid-Schichten	26
3.1.3	Verwendete Beschichtungstechnologien in dieser Arbeit	28
3.2	Elektrisch isolierende Schichtmaterialien: Einsatzgebiete, Kenntnisse und Auswahl	28
3.2.1	Auswahl der zu untersuchenden Schichtmaterialien	30
3.2.2	Weitere Anwendungsbereiche der relevanten Schichtmaterialien	30
3.3	Dünne und elektrisch isolierende Schichten auf Metallen – Ein aktueller Stand	31
3.3.1	Beispiele verwendeter Substrate und applizierter Schichten	31
3.3.2	Potentielle Einflüsse auf die Isolationsschicht	32
3.4	Zusammenfassung	35
4	Experimentelle Untersuchungen am Schicht-Substrat-System	37
4.1	Charakterisierung der Isolationsschichten	37
4.1.1	Bestimmung der elektrischen Isolation	37
4.1.2	Messen der Schichtdicke	41
4.1.3	Weitere Analysemethoden	42
4.2	Substratauswahl: Werkstoff, Präparation und Charakterisierung	42
4.2.1	Geometrie der Probekörper und der Messpunkte	45
4.2.2	Oberflächenbearbeitung der Probekörper	46
4.3	Auswahl der Versuchsparameter	48
4.4	Parameterscreening mittels der statistischen Versuchsplanung	50
4.4.1	Kurze Einführung in die statistische Versuchsplanung	50
4.4.2	Aufbau und Durchführung der Screening-Versuche	52

4.4.3	Verifikation des Versuchsplans	55
4.4.4	Ermittlung der Haupteinflüsse auf elektrisch isolierende Schichten	57
4.5	Detaillierung der Screening-Versuche	59
4.5.1	Versuchsreihen zur Untersuchung des Einflusses von Schichtdicke, Substratmaterial und dessen Oberfläche	60
4.5.2	Oberflächenanalyse der Substratmaterialien	65
4.5.2.1	Lichtoptische Analyse mittels Laser-Konfokalmikroskopie	65
4.5.2.2	Analyse der Oberflächenbestandteile mittels EDX	69
4.6	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	72
5	Optimierung des Abscheidungsprozesses durch Anwendung hochionisierter Plasmen	75
5.1	Einführung in die HiPIMS-Technologie	76
5.1.1	Abscheidung dielektrischer Schichten	77
5.2	Untersuchungen zur Abscheidung von Aluminiumoxid-Schichten mittels HiPIMS	79
5.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	79
5.2.2	Isolationseigenschaften der HiPIMS-Schichten	80
6	Analyse und Vergleich der abgeschiedenen Schichten	83
6.1	Stöchiometrie der Schichten	84
6.2	Analyse der Bruchflächen	84
6.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	90
7	Dünnschichtsensoren für die Metrologie am Beispiel der Kraftsensorik	93
7.1	Strukturierung der Sensorschicht	94
7.1.1	Vorstellung verschiedener Strukturierungsverfahren	94
7.1.2	Entwicklung einer Laserbelichtungsanlage	97
7.2	Entwicklung des Verformungskörpers und der Dehnungssensorik	101
7.2.1	Entwurf im CAD	102
7.2.2	Auslegung mittels FEM	103
7.2.3	Auslegung des Sensors	104
7.2.4	Sensorfertigung	107
7.3	Charakterisierung des Kraftsensors	110
7.3.1	Aufbau und Durchführung der Messung	110
7.3.2	Ergebnisse und Bewertung	112
7.4	Zusammenfassung	116
8	Zusammenfassung und Ausblick	117
	Literatur	123