

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Synthesen und Charakterisierung	10
2.1	Synthese des meso-Tetrakis-[3,5-bis-(3'-phosphonopropoxy)-phenyl]-porphyrins 7	10
2.1.1	(3-Brompropyl)-phosphonsäurediethylester 3	10
2.1.2	(3-{3'-[3''-(Diethoxyphosphoryl)-propoxy]-5'-formylphenoxy}-propyl)-phosphonsäurediethylester 5	12
2.1.3	meso-Tetrakis-[3,5-bis-{3'-(diethoxyphosphoryl)-propoxy}-phenyl]-porphyrin 6	14
2.1.4	meso-Tetrakis-[3,5-bis-(3'-phosphonopropoxy)-phenyl]-porphyrin 7	18
2.2	Synthese von meso-Tetrakis[4-(3'-phosphonopropoxy)-phenyl]-porphyrin 11	22
2.2.1	[3-(4'-Formylphenoxy)-propyl]-phosphonsäurediethylester 9	22
2.2.2	meso-Tetrakis[4-{3'-(diethoxyphosphoryl)-propoxy}-phenyl]-porphyrin 10	26
2.2.3	meso-Tetrakis[4-(3'-phosphonopropoxy)-phenyl]-porphyrin 11	29
2.3	Synthese von 3-(Hydroxydimethylsilyl)propanphosphonsäure 15	31
2.4	Synthese von (3-Mercaptopropyl)-phosphonsäure 17	33
2.4.1	(3-Mercaptopropyl)-phosphonsäurediethylester 16	33
2.4.2	(3-Mercaptopropyl)-phosphonsäure 17	34
3.	Die Rasterkraftmikroskopie – eine ideale Methode für mesoskopische Untersuchungen organischer Nanostrukturen auf festen Subphasen unter Verwendung des <i>tapping mode</i>	36
3.1	Das Prinzip der Rasterkraftmikroskopie	36
3.2	Wechselwirkungen zwischen Spitze und Probenoberfläche	37
3.3	Der statische Modus (<i>contact mode</i>) und der dynamische Modus (<i>tapping mode</i>)	38
3.4	Das Phasenbild	41
3.5	Bestimmung der Breite von Nanoobjekten mit dem Rasterkraftmikroskop	41

4.	Aufbau und Charakterisierung von Zr(IV) –Phosphonatporphyrin – Türmen auf modifizierten Siliziumwafern	43
4.1	Darstellung von Siliziumwafern mit kovalent gebundenen Phosphonsäure-Kopfgruppen und deren Zirkonierung	43
4.2	Modell der self-assembly und des Wachstums des <i>meso</i> -Tetrakis-[3,5-bis-(3'-phosphonopropoxy)-phenyl]-porphyrins 7 zu n Türmen auf zirkonierten Siliziumwafern III	44
4.3	Charakterisierung der <i>meta</i> - und <i>para</i> -Porphyrin-Türme auf modifizierten Siliziumwafern mit dem Rasterkraftmikroskop	47
4.3.1	Charakterisierung der aus der wässrigen Porphyrin-Lösung <i>meta</i> -H ₂ O dargestellten <i>meta</i> -1 Türme bzw. Porphyrin-Fasern auf zirkonierten Siliziumwafern III	48
4.3.2	Charakterisierung der aus der methanolischen Porphyrin-Lösung <i>meta</i> -MeOH dargestellten <i>meta</i> -1 Türmen bzw. Porphyrin-Mauern auf zirkonierten Siliziumwafern III	52
4.3.3	Charakterisierung der aus der methanolischen Porphyrin-Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>meta</i> -N-MeOH dargestellten <i>meta</i> -1 Türmen auf zirkonierten Siliziumwafern III	53
4.3.4	Charakterisierung der aus der acetonitrilischen Porphyrin-Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>meta</i> -N-Acetonitril dargestellten <i>meta</i> -1-, 2-, 4-, 8- und 16 Türmen auf zirkonierten Siliziumwafern III	58
4.3.4.1	Beschreibung der <i>meta</i> -1 Türme	58
4.3.4.2	Beschreibung der <i>meta</i> -2 Türme	59
4.3.4.3	Beschreibung der <i>meta</i> -4 Türme	59
4.3.4.4	Beschreibung der <i>meta</i> -8 Türme	61
4.3.4.5	Beschreibung der <i>meta</i> -16 Türme	61
4.3.5	Charakterisierung der aus der acetonitrilischen Porphyrin 7 - Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>meta</i> -N-Acetonitril dargestellten <i>meta</i> -2- und 4 Türmen auf <i>tert.</i> -Butylphosphonsäure – beschichteten bzw. Phenylphosphonsäure - beschichteten Siliziumwafern	64
4.3.6	Charakterisierung der aus der acetonitrilischen Porphyrin-Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>meta</i> -N-Acetonitril dargestellten <i>meta</i> -1-, 2- und 4 Türmen auf Alizarin S – beschichteten Siliziumwafern IV	65
4.3.6.1	Beschreibung der <i>meta</i> -1 Türme	68

4.3.6.2 Beschreibung der <i>meta</i> -2 Türme	68
4.3.6.3 Beschreibung der <i>meta</i> -4 Türme	68
4.3.7 Charakterisierung der aus der acetonitrilischen Porphyrin-Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>para</i> -N-Acetonitril dargestellten <i>para</i> -1-, 2-, 4- und 8 Türmen auf Alizarin S – beschichteten Siliziumwafern IV	72
4.3.7.1 Beschreibung der <i>para</i> -1 Türme	73
4.3.7.2 Beschreibung der <i>para</i> -2 Türme	73
4.3.7.3 Beschreibung der <i>para</i> -4- und 8 Türme	74
4.3.7.4 Modell des Höhenwachstums und der Verbreiterung der auf der Siliziumoberfläche gebundenen <i>para</i> -Porphyrin-Türme während der self-assembly	74
4.3.9 Modellierung des strukturellen Aufbaus, der Verbreiterung und des Höhenwachstums der <i>meta</i> -Porphyrin-Türme während der Porphyrin-self-assembly	76
4.3.9.1 Bindungsverhältnisse organischer Zr(IV)-Phosphonate	76
4.3.9.2 Modellierung der Oberflächenstruktur des zirkonierten Siliziumwafers III	78
4.3.9.3 Modellierung von (2,5 ± 0,7) nm hohen Porphyrin-Mono- bzw. Dimeren	78
4.3.9.4 Modellierung der Grundfläche eines Porphyrin-Turms	80
4.3.9.5 Modellierung des Höhen - und Breitenwachstums der Porphyrin - Türme während der Porphyrin - self - assembly	83
4.3.9.6 Überlegungen zur Gestalt der Porphyrin – Türme	86
5. Vergleichende Charakterisierung der <i>meta</i>- und <i>para</i>-Porphyrin-Türme auf modifizierten Siliziumwafern mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)	90
5.1 Das Prinzip der Rasterelektronenmikroskopie	90
5.2 Bestimmung der Breiten der aus der acetonitrilischen Porphyrin-Lösung mit Tetrabutylammoniumhydroxid <i>meta</i> - bzw. <i>para</i> -N-Acetonitril dargestellten <i>meta</i> -bzw. <i>para</i> -1-, 2- und 4 Türmen auf Alizarin S – beschichteten Siliziumwafern IV	91
6. Nanomanipulation an <i>meta</i>-4 Türmen, dargestellt aus der Porphyrin-Lösung <i>meta</i>-N-Acetonitril mit Tetrabutylammoniumhydroxid auf Alizarin S beschichteten Siliziumwafern IV	95

7.	Versuch des Aufbaus und Charakterisierung der Zr(IV) –Phosphonat-porphyrin - Türme auf modifizierten Cab-O-Sil[®]-Nanopartikeln	99
7.1	Eigenschaften von Cab-O-Sil [®]	99
7.2	Versuch der Darstellung von Porphyrin - Türmen auf modifizierten Cab-O-Sil [®] -Nanopartikeln	101
8.	Zusammenfassung, Ausblick und English Conclusion	107
8.1	Diskussion	107
8.2	Ausblick	108
8.3	Zusammenfassung	109
8.4	English Summary	112
9.	Experimenteller Teil	115
9.1	Meßgeräte und Probenpräparation	115
9.2	Synthesevorschriften	118
9.3	Darstellung von Porphyrin-Türmen auf Siliziumwafern	129
9.4	Versuch der Darstellung von Porphyrinphosphonat-Zr(IV) – Türmen auf Cab-O-Sil [®] - Nanopartikel	139
10.	Anhang – Literatur	140