

serstoffplasmen beschreibt. Mit atomarem Wasserstoff können die adsorbierten Kohlenwasserstoffe bei Temperaturen größer $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ entfernt werden, wie auch Versuche mit German zeigen. Es ist außerdem möglich, dicke thermische Oxidschichten mit GeH_4 bei $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, und somit innerhalb des gesetzten Temperaturlimits, zu reduzieren. Die Betrachtung der zugrunde liegenden chemischen Reaktion liefert eine Erklärung dafür, weshalb es bei dieser Art der Oxidentfernung zum An- und Überwachsen von Suboxiden mit Germanium kommen kann, wie in zahlreichen Veröffentlichungen berichtet wird.

Neben Experimenten zur Reinigung wurde die Oxidation als weiterer, hinsichtlich des erforderlichen thermischen Budgets kritischer Prozessschritt untersucht. Dabei zielten die Versuche auf die Beantwortung der Frage, ob und mit welcher Schichtdicke die Herstellung von Oxiden mit guten elektrischen Eigenschaften durch Verwendung reaktiver Sauerstoff-Spezies bei Temperaturen von maximal $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ realisiert werden kann. Die Analyse der Proben erfolgte mittels Spektralellipsometer-Messungen sowie elektrischer Charakterisierung (I-V, C-V).

Auf Grund des modularen Aufbaus des Anlagenkonzepts in Verbindung mit der großen Anzahl möglicher Prozessgase sind über die im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigten Anwendungen hinaus weitere Applikationen realisierbar, die nicht nur auf das Feld der Halbleitertechnologie beschränkt sind. Die internationale Beachtung durch die Industrie, die den Einsatz des vorgestellten Anlagenkonzepts und der damit möglichen Prozessen auch bei der Herstellung von Carbon Nanotubes sieht, zeigt, dass diese Arbeit Relevanz für alle Bereiche besitzt, bei denen eine Oberflächenmodifikation ohne direkte Einwirkung und bei ggfs. niedrigen Temperaturen erreicht werden soll.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Stand der Technik: Halbleiterfertigung und thermisches Budget	5
2.1	Die Herstellung eines n-Kanal MOSFET	5
2.2	Die Bedeutung von Reinigungsprozessen	7
2.3	Nasschemische Reinigung	9
2.3.1	Standard Clean (RCA Clean)	9
2.3.2	Reinigung mit Flusssäure (HF-dip)	10
2.4	<i>In situ</i> Reinigungsverfahren	12
2.4.1	Hochtemperaturflash	13
2.4.2	Thermische Desorption	14
2.4.3	Hydrogen Bake	16
2.4.4	Carbon Burning	17
2.5	Oxidationsverfahren	19
2.5.1	Thermische Oxidation	19
2.5.2	Abscheideoxide	23
3	Konzepte für Niedertemperaturprozesse	24
3.1	Einsatz reaktiver Chemikalien	24
3.2	Plasma-unterstützte Prozesse	25
3.3	Photonen-aktivierte Prozesse	26
3.4	Festlegung der Spezifikationen der Versuchsanlage	29
4	Anlagenaufbau	31
4.1	Rezipient	31
4.1.1	Grundlagen der kinetischen Gastheorie	31
4.1.2	Anforderungen an den Rezipienten	35
4.1.3	Aufbau der „MUM“	35

4.2	Lasert und Optik	37
4.2.1	Photoanregung von Gasmolekülen	38
4.2.2	Excimerlaser ExciStar M-100	41
4.2.3	Optik und Strahlengang	41
4.3	Verwendete Prozessgase	43
4.3.1	Eigenschaften der Gase und Anforderungen an die Anlage	43
4.3.2	Betriebssicherheit der Anlage	45
4.4	Weitere Komponenten	46
4.4.1	Lampenofen	46
4.4.2	Siliziumeffusionszelle	47
4.4.3	Anlagensteuerung	48
5	Niedertemperaturreinigung	50
5.1	Reinigung mit Sauerstoff	50
5.1.1	Chemische Reaktion und Stand der Technik	50
5.1.2	Lasert-assisted Carbon Burning	52
5.1.3	Auswirkungen auf das Bauelementeverhalten	60
5.1.4	Fazit zur Reinigung mit Sauerstoff	67
5.2	Reinigung mit Wasserstoff	69
5.2.1	Chemische Reaktion und Stand der Technik	69
5.2.2	Reinigung mit Wasserstoff-Radikalen	73
5.2.3	Fazit zur Reinigung mit Wasserstoff	76
5.3	Reinigung mit Silan und German	77
5.3.1	Chemische Reaktion und Stand der Technik	77
5.3.2	Reinigungsexperimente mit Silan	80
5.3.3	Reinigungsexperimente mit German	82
5.3.4	Fazit zur Reinigung mit Silan und German	88
6	Niedertemperaturoxidation	90
6.1	Photonenaktivierte Oxidation – Stand der Technik	90
6.2	Lasert-assisted Oxidation	92
6.3	Fazit zur lasert-unterstützten Oxidation	99
7	Zusammenfassung und Ausblick	101
	Anhang	103