

Plasma-induced ionization waves: Fundamentals and surface modifications

Plasma erzeugte Ionisationswellen: Grundlagen und Oberflächenmodifikationen

Kurzfassung der Dissertation von Max Engelhardt

Die Dissertation beschäftigt sich mit dem Bau und der Untersuchung eines Plasma Jets bei Atmosphärendruck. Ein Plasma Jet ist ein dielektrisches Rohr welches mit einem Edelgas gespült wird, und durch Anlegen einer gepulsten Hochspannung wird das Gas in den Plasmazustand versetzt. Im Prinzip erzeugt man eine „kalte Flamme“ welche aus dem offenen Ende des Rohres expandiert. Damit lassen sich komplexe geometrische Strukturen von thermosensitiven Material behandeln.

Die Fähigkeit von Plasmen Oberflächen zu funktionalisieren oder auch biologisch zu behandeln ist lange bekannt, und dafür wird üblicherweise eine planare dielektrische Barriere-Entladung (DBD) benutzt. Bei einer DBD ist aber eine Limitation die flache Oberfläche und eine weitere das Zünden des Plasmas in Umgebungsluft da dies die Chemie des Plasmas definiert. In einem Jet hat man die Möglichkeit alle Geometrien zu behandeln, und durch Beimischung anderer Gase kann auch die erzeugte Chemie beeinflusst werden. Zu diesem Zweck wird in dieser Arbeit ein Plasma Jet entwickelt, gebaut und getestet.

Für eine Charakterisierung dieses Plasma Jets ist die Messung von signifikanten Parametern nötig welche das Plasma eindeutig beschreiben und quantifizierbar machen. In einer Gasentladung bei Atmosphärendruck sind die Elektronendichte und das reduzierte Elektrische Feld solche Parameter. In einer stationären Entladung wie der DBD lassen sich diese Größen mit verschiedenen Diagnostiken messen, da der Plasma Jet aber sehr transient ist und auch eine geringe Größe hat, scheiden viele dieser Diagnostiken aus. Als guter Kandidat erweist sich die zweidimensionale optische Emissionsspektroskopie, bei der eine hochempfindliche Kamera mit verschiedenen optischen Bandpass Filtern benutzt wird. Es wird Helium benutzt um das Plasma zu zünden, mit einer 1% Beimischung von Stickstoff für die Diagnostik. Die beobachteten Wellenlängen sind 380 nm, aus dem Übergang $N_2(C-B,2-0)$, und 391 nm aus dem Übergang $N_2^+(B-X,0-0)$. Die Intensitäten bei den verschiedenen Wellenlängen Bereichen werden mittels einer inversen Abel Transformation wieder in radiale Verteilungen umgerechnet. Dann wird aus dem Verhältnis der beiden Stickstoff Zustände das reduzierte Elektrische Feld berechnet und daraus der Anregungsquerschnitt für $N_2(C-B)$. Aus diesem und der Stickstoffdichte lässt sich dann die Elektronendichte berechnen.

Zusätzlich muss bei der Behandlung von sensitiven Oberflächen darauf geachtet werden, dass die Oberfläche durch die Behandlung nicht beschädigt wird. In dieser Arbeit wird festgestellt, dass ein Plasma Jet erhebliche Oberflächenmodifikationen verursacht. Um dies genauer zu untersuchen, wird eine glatte Siliziumoberfläche ausgewählt bei der die chemische Komposition genau bekannt ist. Mithilfe verschiedener Mikroskope werden die Spuren auf dem Silizium untersucht, sowohl ihre Struktur als auch ihre chemische Zusammensetzung. Verschiedene Arten von Modifikationen werden gefunden, geätzte Kanäle, Silizium Blasen und abgeschiedene Kristalle. Solche Modifikationen von Silizium sind bekannt aus der Literatur, werden dort aber bei stark unterschiedlichen Plasmabedingungen erzeugt. Es wird in dieser Arbeit ein zweiter Entladungstyp benutzt um zu prüfen, ob diese Modifikationen eine spezielle Eigenschaft des Plasma Jets sind. Mit einer planaren DBD, welche eine sehr verbreitete Plasmaentladung darstellt, werden ebenfalls Silizium Wafer behandelt und auch hier können die gleichen Modifikationen beobachtet werden. Bei der DBD können verschiedene Entladungstypen produziert werden, zum einen ein selbst organisierter Modus der dem Jet sehr ähnlich ist und auch dieselben Modifikationen verursacht, aber auch ein stochastischer Modus bei dem keine Modifikationen erzeugt werden.