

**Kinetische und numerische Untersuchungen zur Beschreibung
stochastischer Heizung in kapazitiv gekoppelten Niederdruckplasmen
Mustafa Bayrak**

Kurzfassung

Die Heizung von Elektronen in kapazitiv gekoppelten Niederdruckplasmen war und ist immer noch ein interessantes Forschungsgebiet. Erst durch die genaue Vorstellung darüber, wie die eingekoppelte Energie auf die Teilchen im Plasma umgesetzt wird, ist es Möglich, Optimierungen bzw. Verbesserungen an Herstellungsprozessen in der Halbleitertechnik oder der Mikroelektronik durchzuführen.

Langjährige Forschungsarbeiten im Hinblick auf die Energieeinkopplung in Niederdruckplasmen lieferten zwar wichtige Erklärungen zur Heizung von Elektronen, jedoch sind nicht alle Aspekte der Mechanismen im Detail beschrieben und untersucht worden. In den achtziger Jahren haben Popov und Godyak anhand experimenteller Ergebnisse nachweisen können, dass die konventionelle ohmsche Heizung den dominierenden Heizmechanismus nur für Gasdrücke oberhalb von 10 Pa darstellt. Sie haben weiterhin noch zeigen können, dass es einen zusätzlichen Heizmechanismus bei niedrigen Gasdrücken unterhalb von 10 Pa existieren muss, denn unter diesen Bedingungen verliert offensichtlich die ohmsche Heizung ihre Dominanz. Dieser zusätzliche Heizprozess, auch unter dem Namen stochastische Heizung oder kollisionslose Heizung bekannt, stellt für Niederdruckplasmen eine effektive Möglichkeit zur Energieeinkopplung dar. Bis zur Veröffentlichung der Dissertationsarbeit von Hamme existierte jedoch keine konsistente Beschreibung dieses Heizprozesses. Es wurden zwar viele Hypothesen zur Theorie der stochastischen Heizung aufgestellt, aber die Forschungsarbeiten von Hamme lieferten eine eindeutige Identifizierung dieses Prozesses. Er entwickelte auf der Basis der kinetischen Theorie ein konsistentes Plasmamodell, und formulierte zudem die stochastische Heizung in einer Randbedingung. Die stochastische Heizung, welche zum Einen auf die elektrische Kräfte an der Randschichtkante und zum Anderen auf die Expansion und Kompression der Vorschicht zurückzuführen ist, konnte somit über die formulierte Randbedingung in zukünftigen Simulationen eingebunden werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde ausgehend von der kinetischen Beschreibung der Elektronen in kapazitiv gekoppelten Niederdruckplasmen ein konsistentes, mathematisches Modell hergeleitet. Die Forschungsarbeiten von Hamme beruhten auf ein ähnliches Modell, jedoch wurden zusätzlich in dieser Arbeit die inelastischen Prozesse, welche bei der Umsetzung der eingekoppelten Energie in einem Plasma-Reaktor eine wichtige Rolle spielen, ebenfalls betrachtet. Das mathematische Modell berücksichtigt die oben genannte Randbedingung zur Beschreibung der stochastischen Heizung und beinhaltet zudem weitere Nebenbedingungen, wie die der Erhaltung der Quasineutralität. Die Maxwell-Gleichungen zur Bestimmung der Felder lieferten letztendlich die noch notwendigen Gleichungen zum Abschließen des mathematischen Modells dieser Arbeit. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit war es das Ziel, für das aufgestellte Modell ein geeignetes numerisches Verfahren zur Lösung der Gleichungen zu finden. Das Programm, welches die Berechnungen des numerischen Verfahrens durchführt, liefert erstmals neben den Messungen von Popov und Godyak numerische Ergebnisse, die mit Hilfe der von Hamme formulierten Randbedingung die stochastische Heizung als den dominierenden Heizprozess für Gasdrücke unterhalb von 10 Pa identifizieren.