

Computer assisted development and optimization of a variable dielectric barrier discharge

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät für Informatik und
Elektrotechnik der Universität Rostock**

vorgelegt von

Robert Bansemer, geb. am 01.03.1991 in Bergen aus Greifswald

Rostock, 05.02.2020

Zusammenfassung

Physikalische Plasmen werden in biomedizinischen Anwendungen genutzt, um kombiniert über mehrere Mechanismen auf das zu behandelnde biologische System einzuwirken. Zu den wichtigsten Anwendungsgebieten zählt die Förderung der Heilung chronischer Wunden durch Dekontamination und aktive Wiedereinleitung und Stimulation der endogenen Heilungsmechanismen. Obwohl physikalische Plasmen für Wundheilungsanwendungen bereits Einzug in den Alltag einiger Kliniken gehalten haben, ist eine weitere Entwicklung und Erforschung zugrundeliegender Mechanismen wünschenswert. Das folgt vorrangig daraus, dass Wundheilung sowohl sehr individuell als auch sehr dynamisch abläuft. Außerdem sind Plasmaprozesse in diesem Anwendungsbereich bisher nicht standardisiert, was die Zulassung und die Kostenerstattung durch Krankenkassen erschwert.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel der Weiterentwicklung biomedizinischer Anwendungen von Plasmen, indem die Auswahl der verfügbaren Plasmaquellenkonzepte um einen neuen Ansatz ergänzt wird. Im Gegensatz zu den meisten etablierten Geräten legt die hier vorgestellte Lösung den Schwerpunkt auf eine Produktion reaktiver Sauerstoff- und Stickstoffspezies (RONS) als einziger bereitgestellter Wirkstoff. Das legt eine Nutzung durch Anstreben einer klinische Zulassung weniger nahe, die vordergründige Eignung besteht für Anwendungen in der biomedizinischen Forschung. Während die Beschränkung auf RONS in der klinischen Nutzung kaum anzustreben ist, profitieren Laboruntersuchungen von unkomplizierter Handhabung, einem robusten Steuerungsverfahren und dem Potenzial für bedarfsabhängige Erweiterungen.

Das Gerät basiert auf einer dielektrischen Barriereentladung, die in Umgebungsluft bei reduziertem Druck betrieben wird. Das ermöglicht die Erzeugung einer Ozon-dominierten Gaszusammensetzung, aber auch eine ausschließliche Produktion von Stickoxiden einschließlich Stickstoffmonoxid. Druck und Temperatur des Prozessgases zeigten sich als dominierende Faktoren zur Steuerung der produzierten Gaszusammensetzung. Darüber hinaus wurden die entscheidenden chemischen Prozesse für den Übergang von der Ozon- zur Stickstoffmonoxidproduktion durch Nutzung eines plasmachemischen Modells identifiziert. Das Modell zeigt außerdem, dass die im untersuchten Konzept vorherrschende konstruktive Kopplung von Druck und Gasflussrate das Ansprechen der wesentlichen Reaktionen auf Druckänderungen unterstützt.

Um die praktische Nutzbarkeit der aufgezeigten plasmachemischen Kontrollmechanismen zu verbessern, wurde eine elektrische Diagnosemethode zur Messung der Gastemperatur entwickelt. Diese überwindet die Schwierigkeit der Gastemperaturmessung in einem voll-integrierten Gerät auch ohne Gasfluss. Der verwendete Ansatz zur Umsetzung des Diagnoseverfahrens ist der Zusammenhang von Temperatur und Spannungsabfall über der Entladung. Ein Funktionsmuster, das das untersuchte Konzept und die entwi-

ckelte Diagnostik implementiert, wurde als Technologiedemonstrator zum Abschluss des Projekts konstruiert und gefertigt.

Abstract

Physical plasmas are used in biomedical applications to combine a multitude of active agents in order to influence the treated biological system. The promotion of healing of chronic wounds by decontaminating them and actively re-initiating and stimulating the endogenous healing mechanism is one important application area besides others. Although wound healing application of physical plasmas is already established in certain clinics' daily routine, further development and understanding of the background is desirable. This is motivated especially by the circumstance that wound healing is both a very individual and a very dynamic process. Furthermore, plasma treatment routines in this field are not standardized up to now, which makes approval and reimbursement by health insurance providers more difficult.

In the frame of the present work, the aim of enhancing biomedical applications of plasma is addressed by complementing the range of available plasma source concepts by a new approach. Contrary to most established devices, the solution introduced here focuses on the production of reactive oxygen and nitrogen species (RONS) as the only active agents. This qualifies the device not as a basis to aim for a certification for clinical practice, but rather for basic biomedical research. While for the former field of application, the restriction to RONS is not desirable in the first place, the latter can benefit from an unelaborate handling, a robust control mechanism and the potential for further, demand-based enhancements.

The device is based on a dielectric barrier discharge operated in ambient air at reduced pressure. This allows the generation of either an ozone-dominated output gas chemistry or an exclusive production of nitrogen oxides including nitric oxide. Gas pressure and temperature have found to be the dominating factors controlling the output gas composition. Furthermore, crucial chemical processes for the ozone- to nitric oxide-transition have been identified using a plasma chemical model. The model also revealed that a constructive coupling of pressure and flow rate as realized in the presented concept improves the response of key reactions to pressure changes.

For enhancing the practical usability of the identified plasma chemical process control mechanisms, an electrical diagnostics method tracking the gas temperature has been developed. It overcomes the difficulty in determining the gas temperature in a fully-integrated device even without gas flow. The approach used to realize this diagnostics is the connection between temperature and voltage drop over the discharge. A laboratory prototype implementing the investigated concept and the developed diagnostics has been designed and manufactured as a technology demonstrator to conclude the project.