

Atmospheric-pressure Dielectric barrier discharge (DBD) in air: Plasma characterization for skin therapy

Priyadarshini Rajasekaran

Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology (AEPT)
Department of Electrical Engineering and Information Sciences (ETIT)

Eine Plasma-Quelle, welche auf dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung (DBE) basiert, wird für den medizinischen Einsatz untersucht. Im Gegensatz zu konventionellen DBE-Anordnungen besteht diese Plasma-Quelle nicht aus zwei Elektroden sondern aus einer einzigen Elektrode, die mit einem Dielektrikum aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) beschichtet ist. Die DBE-Anordnung zündet ein Plasma zwischen der Elektrode und einem Objekt hoher Kapazität wie dem menschlichen Körper oder einer geerdeten Gegenelektrode. Es wird ein gepulstes Hochspannungs-Netzgerät mit einer Trigger-Frequenz von 300 Hz und einer maximalen Amplitude von 13 kV eingesetzt. Bei dem Arbeitgas handelt es sich um Umgebungsluft, welche zwischen der DBE-Elektrode und der zu behandelnden Oberfläche zur Verfügung steht. Chemische Reaktionen und physikalische Prozesse, wie durch Elektronenstöße hervorgerufene Anregung und Dissoziation treten im aktiven Plasma und beim Nachleuchten auf. Auf diese Weise entstehen Moleküle wie Stickstoffmonoxid (NO) und Ozon (O_3), aber auch UV-Photonen, welche hilfreich für die Therapie von Hautkrankheiten und die Hautdesinfektion sind. Die Produktion dieser Moleküle und Photonen wird durch die vorherrschenden Plasma-Bedingungen, die wiederum von Parametern wie der Elektronendichte, der Elektronen-Verteilungsfunktion oder der Gastemperatur abhängen, beeinflusst.

In dieser Arbeit erfolgt eine Charakterisierung des Plasmas anhand einer Bestimmung dieser Parameter durch experimentelle Methoden und numerische Simulationen. Auf diese Weise werden der Fluss von Stickstoffmonoxid und Ozon-Molekülen, welche die zu behandelnde Oberfläche erreichen, bestimmt. Bevor die Entladung auf einem komplexen System wie dem menschlichen Körper charakterisiert werden kann, werden zunächst einfache Elektroden verschiedener Materialien (Metall, Dielektrikum, Flüssigkeit) und Formen (flach, spitz) als geerdete Gegenelektrode eingesetzt und die entsprechende Entladung charakterisiert. Abschließend wird die Haut einer Maus der Plasma-Behandlung ausgesetzt und das entsprechende Plasma ebenfalls charakterisiert. Eine stochastische Filament-Entladung tritt bei einer flachen Aluminium-Elektrode und bei einer Pufferlösung als Gegenelektrode auf, während eine homogene Entladung bei Glas zu beobachten ist. Andererseits ist eine einzelne Filament-Entladung bei einer Aluminiumspitze sowie unter bestimmten Bedingungen bei Wasser vorhanden. Abgesehen von einigen Mikroentladungen aufgrund von hervorstehenden Ansatzpunkten auf der zu behandelnden Oberfläche, entsteht bei der Haut einer Maus eine homogene Entladung. Experimentelle Methoden wie optische Emissions-Spektroskopie, Mikrofotografie und Strom-Spannungs-Messungen werden für die Charakterisierung des Plasmas verwendet. Der Einsatz numerischer Simulationen dient der Bestimmung der Gastemperatur und Elektronen-Geschwindigkeits-Verteilungsfunktion aus experimentellen Werten, sowie der Simulation der chemischen Kinetik, der thermischen Leitfähigkeit und der Diffusion von Stickstoffmonoxid und Ozon-Molekülen auf die zu behandelnden Oberfläche. Die NO- und O_3 -Flüsse sowie UV-Photonen, die die zu behandelnde Oberfläche erreichen, werden bestimmt und mit medizinischen Behandlungsmethoden, welche dem Einsatz von Plasma und Lichtquellen in der Dermatologie unterliegen, verglichen. Die NO- und O_3 -Flüsse haben bei einer einzelnen Filament-Entladung die höchsten Werte, sind jedoch nur in einem schmalen Bereich auf der zu behandelnden Oberfläche vertreten. Die stochastischen Filament-Entladungen und die homogene Entladung ermöglichen eine gleichmäßige Behandlung des vollständigen Bereichs unter der DBE-Elektrode. Die NO- und O_3 -Flüsse einer homogenen Entladung sind höher als die Flüsse der stochastischen Filament-Entladung. Die Intensität der UV-Strahlung aller Entladungsformen befindet sich im Rahmen der Vorgaben für Strahlungsdosen und ist daher nicht gesundheitsschädlich.