

PLASMA PHÓNG ĐIỆN MÀN CHẮN ĐIỆN MÔI TRONG CÁC BÓNG KHÍ TRONG NƯỚC SỬ DỤNG NGUỒN XUNG ĐIỆN ÁP CAO MỘT CHIỀU

DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE (DBD) PLASMA IN BUBBLE IN WATER DRIVEN BY DC HIGH VOLTAGE PULSES

Trương Thị Hoà*, Nguyễn Xuân Bảo

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: tthoa@ute.udn.vn

(Nhận bài: 22/8/2022; Chấp nhận đăng: 28/10/2022)

Tóm tắt - Bài báo đề cập tới mô hình tạo ra các phóng điện plasma màn chắn điện môi (Dielectric Barrier Discharge-DBD) ứng dụng trong xử lý nước có giá thành thấp và thân thiện với môi trường dưới sự kích thích của các xung điện áp một chiều. Các xung điện áp một chiều được tạo ra bằng cách sử dụng nguồn điện cao áp một chiều kết hợp với các đi-ốt chuyển mạch. Nguồn điện cao áp một chiều được thiết kế dựa trên mạch nhân điện áp, với nguồn điện sơ cấp là các điện áp một chiều từ các tấm panel pin mặt trời, hoặc có thể là nguồn điện một chiều thương mại. Đi-ốt chuyển mạch hai chiều có tên tiếng anh là “Sillicon Diode for Alternating Current (SIDAC)” là đi-ốt công suất chuyển mạch có giá thành thấp. Mô hình phóng điện mở rộng phạm vi ứng dụng của plasma DBD cho mục đích môi trường có thể vận hành linh hoạt mà không cần kết nối với lưới điện.

Từ khóa - Phóng điện màn chắn điện môi; Xử lý nước; Nguồn xung điện áp cao

1. Đặt vấn đề

Phóng điện màn chắn điện môi (Dielectric Barrier Discharge-DBD) là hiện tượng phóng điện được tạo ra trong không gian khí giữa hai điện cực, trong đó ít nhất một điện cực được bao phủ bởi vật liệu điện môi. Trong tất cả các cấu hình của buồng phản ứng DBD, luôn có sự hiện diện của một hoặc nhiều lớp điện môi giữa các điện cực kim loại [1-3]. Lớp điện môi đóng một vai trò quan trọng trong việc hạn chế lượng điện tích di chuyển đến các điện cực, do đó ngăn cản sự phóng điện phát triển đến phóng điện hồ quang và giữ nhiệt độ plasma ở mức nhiệt độ phòng. Điện môi là một chất cách điện và không thể truyền dẫn dòng điện một chiều, do đó nguồn điện áp xoay chiều tần số cao hoặc nguồn xung lặp tần số cao cần được sử dụng để tạo ra phóng điện DBD [4].

Trong các ứng dụng xử lý môi trường, đặc biệt trong ứng dụng xử lý nước, plasma phóng điện DBD thường được tạo ra ở áp suất khí quyển bằng cách sử dụng nguồn điện có tích hợp các bộ chuyển đổi AC-DC, DC-AC kết nối với máy biến áp tăng áp. Vì sử dụng bộ chuyển đổi nhiều cấp và máy biến áp kết hợp với sơ đồ điều khiển, nên các nguồn điện này rất phức tạp có giá thành chi phí lắp đặt, vận hành và bảo trì khá cao. Với mục đích tạo ra các phóng điện DBD ứng dụng trong xử lý nước có giá thành ngày càng thấp và thân thiện hơn với môi trường, bài báo đề cập tới mô hình tạo ra plasma phóng điện DBD trong các bóng khí trong nước dưới sự kích thích của các

Abstract - This study proposes a model of generating DBD plasma applied in water treatment under the excitation of DC voltage pulses. The DC voltage pulses are generated by using a DC high-voltage power supply and Silicon Diode for Alternating Current (SIDAC). The DC high-voltage power supply is designed based on the voltage multiplier circuit powered by a primary power source as a DC voltage from the solar panel panels, a commercial DC power source. The Silicon Diode for Alternating Current (SIDAC) is a bidirectional diode which is cheap and designed to be connected directly to power transmission lines. The discharge model expands the range of applications of the DBD plasma for water treatment since it can be operated flexibly without connecting to the grid.

Key words - Dielectric Barrier Discharge; Water treatment; DC high voltage pulses

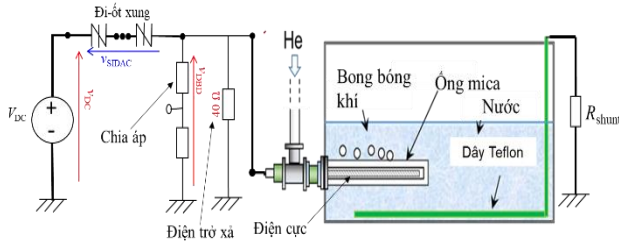
xung điện áp một chiều. Các xung điện áp một chiều được tạo ra bằng cách sử dụng nguồn điện cao áp một chiều kết hợp với các đi-ốt chuyển mạch hai chiều. Nguồn điện cao áp một chiều được thiết kế dựa trên mạch nhân điện áp, với nguồn điện sơ cấp là các điện áp một chiều từ các tấm panel pin mặt trời, hoặc có thể là nguồn điện một chiều thương mại. Đi-ốt chuyển mạch hai chiều được có tên tiếng anh là “Sillicon Diode for Alternating Current (SIDAC)” là đi-ốt công suất chuyển mạch hai chiều có giá thành rẻ [4]. Ở nghiên cứu trước, nguồn xung cao áp một chiều đã được phát triển để tạo ra phóng điện DBD trong môi trường khí. Ở nghiên cứu này mô hình phóng điện DBD được phát triển nhằm tạo ra phóng điện DBD trong môi trường nước dưới sự kích hoạt của nguồn xung điện áp cao một chiều đã được phát triển trong nghiên cứu trước. Việc tạo ra plasma DBD trong nước bằng nguồn xung một chiều điện áp cao trong trường hợp này đặc biệt có ý nghĩa khi các ứng dụng của hệ thống phóng điện DBD trong xử lý nước có thể hoạt động bằng các nguồn điện một chiều sơ cấp là điện áp ra trực tiếp từ các panel pin mặt trời, nhờ đó mô hình phóng điện DBD ứng dụng trong xử lý nước có thể hoạt động được ở khu vực mà không có kết nối với lưới điện.

2. Mô hình plasma phóng điện DBD trong nước

Sơ đồ thí nghiệm của phóng điện DBD trong môi trường nước được thể hiện trong Hình 1. Mô hình sử dụng nguồn điện một chiều sơ cấp cấp nguồn cho bộ phận tạo

¹ The University of Danang - University of Technology and Education (Trương Thị Hoà, Nguyễn Xuân Bảo)

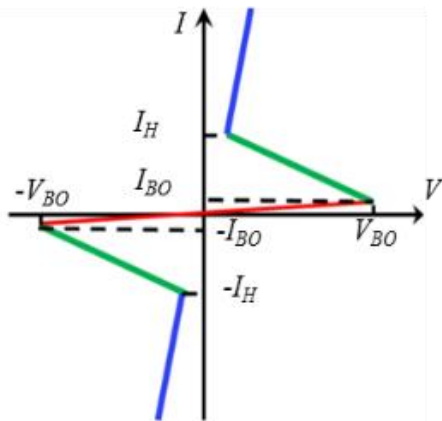
xung là chuỗi kết nối nối tiếp của 12 đi-ốt chuyển mạch hai chiều (Silicon Diode for Alternating Current -SIDAC). Đi-ốt SIDAC là đi-ốt chuyển mạch hai chiều điện áp cao. Đặc tính làm việc và thông số của SIDAC được thể hiện như Bảng 1 và Hình 2 [4]. Khi điện áp đặt vào SIDAC (V_{SIDAC}) đạt tới hoặc vượt quá điện áp đánh thủng (V_{BO}) của SIDAC, các SIDAC sẽ chuyển từ trạng thái khóa sang trạng thái dẫn. Trạng thái dẫn của các đi-ốt SIDAC sẽ được tiếp tục duy trì cho đến khi dòng điện qua các đi-ốt này giảm xuống dưới giá trị dòng điện duy trì (I_H). Trong mô hình này 12 đi-ốt SIDAC được kết nối nối tiếp với nhau sẽ tạo ra một điện áp chuyển mạch lên tới khoảng 4000 V với thời gian chuyển mạch điển hình đã được thực nghiệm là khoảng 200 nsec [4]. Từ Hình 1 cho thấy, chuỗi kết nối các đi-ốt SIDAC được nối nối tiếp vào giữa nguồn một chiều điện áp cao và buồng phản ứng. Đặc tính chuyển mạch của kết nối SIDAC sẽ cung cấp một xung điện áp cao cho quá trình phóng điện với lưu đồ vận hành được mô tả như ở Hình 3. Các xung điện áp cao được tạo ra với tốc độ tăng xung lên tới hàng chục (kV/ μ sec).



Hình 1. Sơ đồ mô hình thí nghiệm phóng điện trong môi trường nước

Bảng 1. Đặc tính điện học của SIDAC (K1V38 (W))

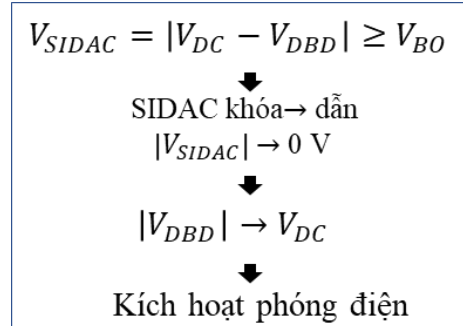
Điện áp chuyển mạch (V_{BO})	360 ~ 400 V
Dòng điện chuyển mạch (I_{BO})	0,5 mA
Dòng điện duy trì (I_H)	50 mA
Điện áp khóa lớn nhất (V_{DRM})	270 V
Dòng điện khóa lớn nhất (I_{DRM})	10 μ A
Điện trở chuyển mạch (R_s)	100 Ω



Hình 2. Đặc tính Volt-Ampere của SIDAC

Buồng phóng điện hình trụ gồm một điện cực bằng đồng được phủ bởi lớp cách điện PTFE (Teflon), điện cực được đặt đồng tâm bên trong một ống thủy tinh. Ống thủy tinh lớn bên ngoài được sử dụng với mục đích tạo ra

không gian khí cho phóng điện hoạt động trong môi trường nước với ngưỡng điện trường phóng điện tương tự như điện trường phóng điện trong môi trường khí. Trên thành ống thủy tinh có một số lỗ nhỏ có đường kính 0,5 mm. Khí Heli được thổi vào ống thủy tinh từ bên ngoài. Khí Heli được cung cấp vào trong không gian phóng điện với lưu lượng 1 L/phút. Khi dòng khí Heli này thổi vào nước qua các lỗ trên thành ống thủy tinh, các bong bóng khí sẽ được hình thành. Điện cực nối đất là dây dẫn có bọc cách điện PTFE (Teflon) được đặt dưới đáy của một bể nước. Trong cấu hình này, không gian phóng điện là không gian khí giữa ống thủy tinh và điện cực và bên trong các bong bóng được bao quanh bởi nước.



Hình 3. Lưu đồ vận hành tạo xung điện áp cao

Như đã đề cập, đối với phóng điện DBD, lớp điện môi đóng một vai trò quan trọng trong việc ngăn cản sự phóng điện phát triển đến phóng điện hồ quang và giữ nhiệt độ plasma ở mức nhiệt độ phòng. Tuy nhiên, điện môi là một chất cách điện và không thể truyền dẫn dòng điện một chiều, vì thế thông thường, nguồn điện áp xoay chiều tần số cao cần được sử dụng để tạo ra phóng điện DBD. Đối với mô hình phóng điện được đề cập ở đây, buồng phản ứng được cấp nguồn từ các xung điện áp một chiều nên một điện trở xả 40 M Ω đã được mắc song song với buồng phóng điện. Sau một chu kỳ phóng điện, điện tích tích lũy trên lớp điện môi sẽ được giải phóng từ buồng phóng điện qua điện trở xả 40 M Ω và xuống lớp nối đất nhằm chuẩn bị cho một chu kỳ làm việc tiếp theo tiếp theo. Một điện trở Shunt có giá trị 10 Ω với điện kháng rất nhỏ được sử dụng cho việc đo dòng điện qua mạch, điện trở này được nối nối tiếp về phía hạ áp của buồng phản ứng DBD.

Que đo áp hoạt động dựa trên nguyên lý mạch chia áp có (điện trở trong 500 M Ω , tần số 60 Hz, dải đo tới 40 kV DC), được sử dụng để đo điện áp đặt lên buồng phản ứng. Điện áp đặt lên buồng phản ứng và dòng điện phóng điện được thu thập bằng máy hiện sóng Tektronix TBS 1102B-EDU - 100 MHz.

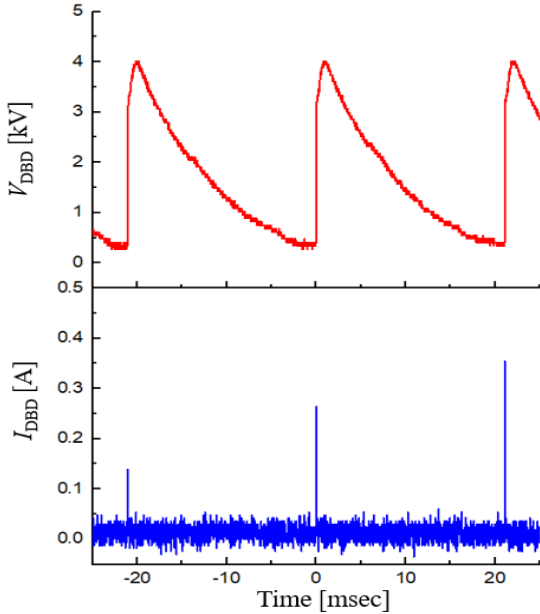
3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

Mô hình thí nghiệm đã hoạt động trong việc tạo ra plasma trong bóng khí trong nước và trong không gian khí của buồng phản ứng hình trụ với màu hồng đặc trưng của plasma khí Heli được mô tả như ở Hình 4. Đặc tính điện học của quá trình phóng điện DBD trong các bóng khí trong nước được mô tả như Hình 5, 6. Hình 5 biểu diễn dạng sóng tổng quan đo được của điện áp và dòng điện cho thấy các phóng điện đã được tạo ra liên tiếp khi có xung điện áp được tạo ra. Trong khi đó, Hình 6 biểu diễn dạng

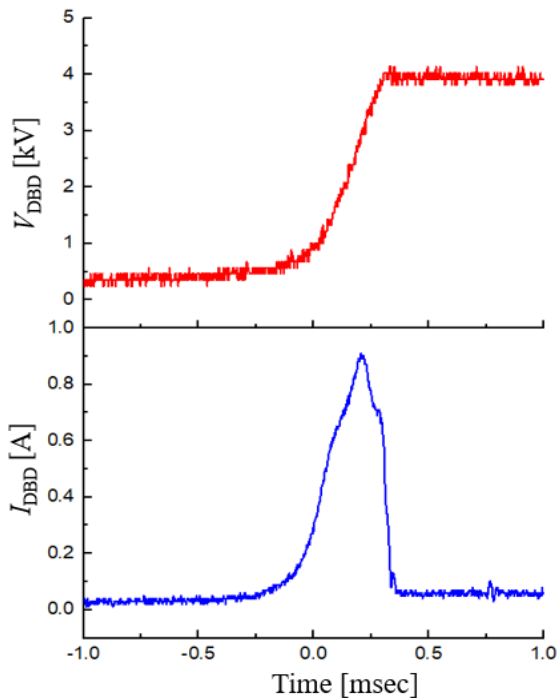
dạng sóng được phóng to của xung điện áp và dòng điện ngay tại thời điểm có phóng điện xảy ra. Từ kết quả thí nghiệm cho thấy phóng điện đã xảy ra tại sườn lên của xung điện áp và được ghi nhận bởi sự tăng đột ngột của xung dòng điện như mô tả ở Hình 6.



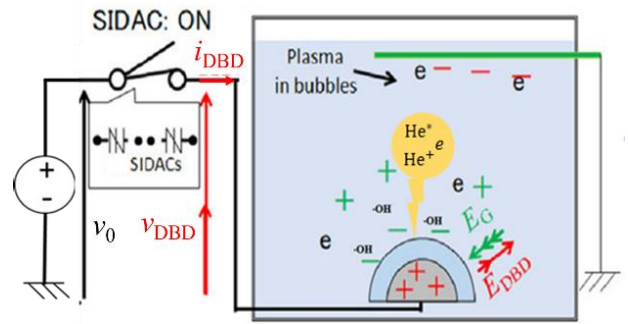
Hình 4. Hình ảnh phóng điện xảy ra trong môi trường nước



Hình 5. Dạng sóng tổng quan của điện áp và dòng điện DBD trong các bóng khí trong nước

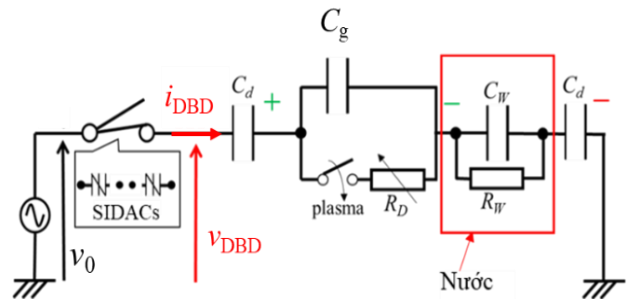


Hình 6. Dạng sóng của xung điện áp và xung dòng điện khi có phóng điện DBD



Hình 7. Sơ đồ mô tả các quá trình hóa học xảy ra trong nước khi có phóng điện

Cơ chế hoạt động của buồng phản ứng được mô tả như Hình 7. Khi có phóng điện xảy ra các điện tích tự do trong không gian phóng điện dưới tác dụng của lực điện trường (E_G) sẽ được di chuyển về các điện cực và tích lũy lên lớp điện môi giữa các bản cực. Sự tích lũy của điện tích trên các lớp điện môi sẽ tạo ra hiệu ứng điện trường không gian, ở đó điện trường phái sinh (E_{DBD}) do sự tích lũy của các điện tích trên lớp điện môi tạo ra sẽ có hướng ngược với hướng của điện trường do nguồn điện cung cấp và dẫn tới làm suy giảm giá trị điện trường tổng trong không gian phóng điện (Hình 7). Kết quả là, khi sự tích lũy của lớp điện tích càng nhiều thì điện trường tổng trong khe hở không khí sẽ suy giảm cho tới khi đạt giá trị thấp hơn ngưỡng điện trường đề duy trì sự phóng điện thì phóng điện sẽ tự tắt. Sau một lần phóng điện, buồng phóng điện hoạt động như một tụ điện đã được tích điện. Khác với điều kiện phóng điện được vận hành bởi nguồn điện xoay chiều là sự đảo chiều của điện áp nguồn sẽ kích hoạt phóng điện ở nửa chu kỳ sau của điện áp đầu vào, trong trường hợp phóng điện được vận hành bởi nguồn điện một chiều, để duy trì phóng điện DBD, buồng phản ứng cần được xả lượng điện tích trên lớp điện môi do các phóng điện trước tích lũy, vì vậy, điện trở xả có giá trị tương đương 40 MΩ đã được mắc song song với buồng phóng điện. Sau một chu kỳ phóng điện, điện tích tích lũy sẽ được xả từ buồng phóng điện xuống điện cực nối đất nhằm chuẩn bị cho một chu kỳ làm việc tiếp theo tiếp theo.



Hình 8. Sơ đồ mạch điện tương đương của buồng phóng điện DBD trong môi trường nước

Các kết quả thí nghiệm được mô tả ở Hình 6 cho thấy, giá trị dòng phóng điện sẽ đạt đỉnh khi có phóng điện xảy ra, sau khi đạt đến giá trị cực đại, dòng điện phóng điện (i_{DBD}) sẽ giảm dần và tiến về giá trị nhỏ hơn giá trị dòng duy trì ($I_H = 50 \text{ mA}$) của các đi-ốt SIDAC. Khi cường độ

dòng điện (i_{DBD}) giảm tới giá trị nhỏ hơn dòng điện duy trì của các đi-ốt SIDAC ($I_H = 50 \text{ mA}$), các SIDAC này sẽ trở lại trạng thái không dẫn điện (trạng thái khóa), và một chu kỳ phóng điện được hoàn thành, buồng phản ứng sẽ chỉ được kích hoạt lại vào thời gian chuyển đổi tiếp theo của các SIDAC.

Sơ đồ mạch điện tương đương của hệ thống plasma phóng điện DBD trong môi trường nước được mô tả như Hình 8. Trong sơ đồ này buồng phản ứng được mô tả bởi điện dung của lớp điện môi thủy tinh của buồng phản ứng (C_d), nối tiếp với điện dung của khe hở không khí trong buồng phản ứng (C_g), plasma sẽ được đặc trưng bởi một điện trở phi tuyến (R_D) có giá trị thay đổi theo đặc tính điện học của plasma, ngoài ra, phóng điện DBD trong môi trường nước còn xuất hiện thành phần điện trở và điện dung đặc trưng cho ảnh hưởng của môi trường nước tới quá trình phóng điện C_w và R_w . Dòng điện trong mạch (i_{DBD}) sẽ là sự xếp chồng của dòng điện điện dung qua các tụ điện và dòng điện phóng điện qua các điện trở thay thế tương đương như mô tả ở Hình 8.

4. Kết luận

Trong bài báo này, mô hình thí nghiệm phóng điện

DBD trong các bóng khí trong nước đã được phát triển nhằm ứng dụng trong lĩnh vực xử lý nước. Plasma phóng điện DBD đã được tạo ra bằng việc sử dụng nguồn xung một chiều điện áp cao có giá thành thấp và thân thiện với môi trường. Việc tạo ra plasma DBD trong nước bằng nguồn xung một chiều điện áp cao trong trường hợp này đặc biệt có ý nghĩa khi các ứng dụng của hệ thống phóng điện DBD trong xử lý nước có thể hoạt động bằng các nguồn điện một chiều sơ cấp là điện áp ra trực tiếp từ các panel pin mặt trời, nhờ đó mô hình phóng điện DBD ứng dụng trong xử lý nước có thể hoạt động được ở khu vực mà không có kết nối với lưới điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Roth, J. R. *Industrial Plasma Engineering*. Philadelphia: CIP, 1995.
- [2] Roth, J. R. *Industrial Plasma Engineering: Volume 2: Applications to Nonthermal Plasma Processing*. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- [3] Kogelschatz, U. "Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications", *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, (2004): 1-46. 23.
- [4] H. T. Trương, M. Hayashi, Y. Uesugi, Y. Tanaka, and T. Ishijima. "Novel design of high voltage pulse source for efficient dielectric barrier discharge generation by using silicon diodes for alternating current", *Rev. Sci. Instrum.* (2017): 065105. 88.