



Báo cáo thử nghiệm

Phóng điện Streamer có khả năng phân hủy oxy hóa cao hơn 1000 lần so với phóng điện phát sáng

Tổ chức thử nghiệm: Công ty Daikin Industries, Ltd

Tên thử nghiệm: Chứng minh sự khác biệt giữa khả năng phân hủy bằng phóng điện Streamer và phóng điện phát sáng

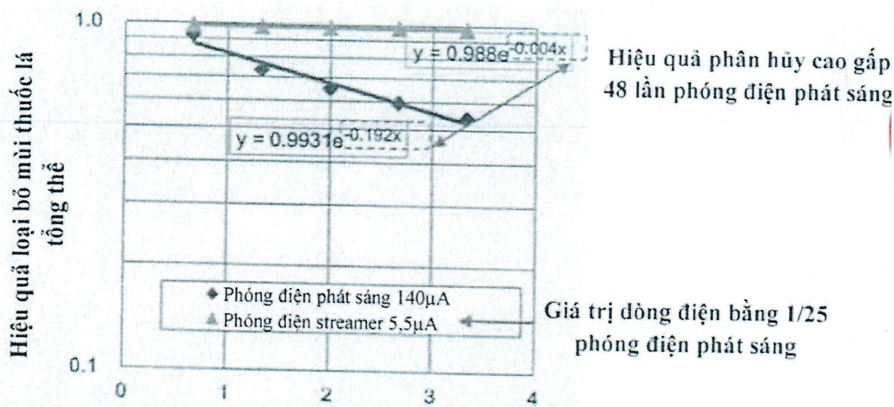
Ngày báo cáo: 06/08/2021

Đối tượng thử nghiệm: phóng điện Streamer

Phương pháp : JEM 1467 của Hiệp hội các nhà sản xuất điện Nhật Bản

Kết quả thử nghiệm:

Khả năng phân hủy của phóng điện streamer cao gấp 48 lần phóng điện phát sáng. Phóng điện streamer cho hiệu quả ở giá trị dòng điện bằng 1/25 phóng điện phát sáng.



$48 \text{ lần} * (140 \mu\text{A} / 5.5 \mu\text{A}) = 1.221 \text{ lần} \approx 1.000 \text{ lần}$

Như vậy phóng điện Streamer có khả năng phân hủy oxy hóa cao hơn 1.000 lần so với phóng điện phát sáng.

==



GIẢI TRÌNH

J. Plasma Fusion Res. Vol.87, No.5 (2011)302-312

Làm sáng tỏ cơ chế phản ứng phóng điện của chất truyền áp suất khí quyển bằng phép đo laser của các chất hoạt động

Ryo Ono

(Trường Cao học Khoa học Biên giới, Đại học Tokyo)
(Tiếp nhận Bản thảo: ngày 11 tháng 4 năm 2011)

Các chất phóng điện bằng áp suất khí quyển như phóng điện hào quang và phóng điện rào cần được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như ứng dụng môi trường, công nghệ sinh học, y học, xử lý bề mặt và hỗ trợ quá trình đốt cháy. Trong các công nghệ phóng điện này, các dòng hoạt động như gốc và ion được tạo ra trong quá trình phóng điện đóng một vai trò quan trọng. Trong những năm gần đây, các phép đo laser của các dòng hoạt động trong quá trình phóng điện của chất truyền phát đã bắt đầu được thực hiện và hành vi của các dòng hoạt động mà cho đến nay vẫn chưa được hiểu rõ và đang dần trở nên rõ ràng hơn. Giải trình này giới thiệu các phép đo laser của các dòng hoạt động khác nhau trong quá trình phóng điện của chất truyền phát, đồng thời mô tả cơ chế tạo ra và phản ứng của các dòng hoạt động đã được mô tả. Chúng tôi cũng sẽ giới thiệu các phép đo laser về nhiệt độ dao động và tính tiến ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng của các dòng hoạt động.

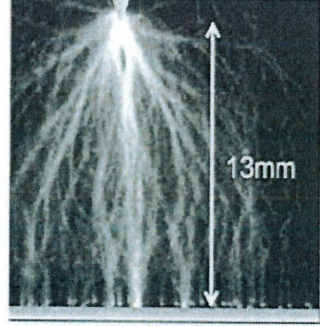
Keywords: atmospheric-pressure nonthermal plasma, streamer, radical, laser-induced fluorescence, vibrational temperature, translational temperature

1. Lời mở đầu

Trong sự phóng điện hào quang và phóng điện rào cần dưới áp suất khí quyển, xảy ra hiện tượng phóng điện dạng sợi như trong Hình 1. Điều này được gọi là xả dòng¹. Dòng phóng điện được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như công nghệ cải thiện môi trường [1-6], tạo ozone [2,7], sinh học [8,9], chăm sóc y tế [10,11], xử lý bề mặt [2], hỗ trợ đốt cháy [12] và các dòng hoạt tính được tạo ra bởi dòng phóng điện (gốc, ion, các chất kích thích như O, N, OH, O₃) đóng vai trò quan trọng. Ví dụ, trong công nghệ cải thiện môi trường, các dạng hoạt động như O, N, OH và O₃ được tạo ra bởi sự phóng điện sẽ phân hủy và loại bỏ khí gây ô nhiễm môi trường (NO_x, SO_x, các chất hữu cơ dễ bay hơi, v.v.) và chất ô nhiễm môi trường trong nước (hóa chất, vi khuẩn, v.v.) [1, 6, 13-17]. Trong công nghệ sinh học (khử trùng), phản ứng khử trùng của các dòng hoạt động và sự phá vỡ màng tế bào tích điện bằng các ion được coi là có hiệu quả [8, 9, 11]. Trong công nghệ y tế (cầm máu, điều trị chấn thương, điều trị ung thư, điều trị nha khoa), phản ứng của các chất hoạt tính tạo ra do phóng điện được coi là có hiệu quả điều trị [10,11]. Công nghệ hỗ trợ đốt cháy sử dụng sự phóng điện để biến nhiên liệu thành các gốc tự do rồi đốt cháy chúng, làm tăng hiệu suất của phản ứng đốt cháy là phản ứng dây chuyền của các gốc tự do [12].

Theo cách này, các dòng hoạt động rất quan trọng trong công nghệ ứng dụng xả chất truyền phát và việc đo lường các dòng hoạt động là điều cần thiết để phát triển công nghệ. Vì các chất được kích hoạt thường có thời gian tồn tại ngắn (<1 ms), phép đo "tại chỗ" sử dụng quang phổ laser được sử dụng để đo. Tuy nhiên, phép đo bằng laser đòi hỏi thiết bị quy mô lớn và không dễ đo, đồng thời có rất ít ví dụ về đo sự phóng điện của chất truyền phát. Mặt khác, mặc dù có nhiều ví dụ nghiên cứu về các dòng hoạt động sử dụng mô phỏng nhưng cần phải đo lường các dòng hoạt động để xác minh tính hợp lệ của mô phỏng.

Trong bối cảnh đó, nhóm của tác giả đang nghiên cứu đo lường các dòng hoạt động trong chất thái phóng xạ và đã làm rõ hành vi của chúng. Bài viết này giới thiệu việc đo lường các dòng hoạt động trong chất phóng xạ, tập trung vào nghiên cứu của nhóm tác giả và mô tả cơ chế hình thành và phản ứng của các dòng hoạt động đã được mô tả.



(a) Phóng điện hào quang



(b) Phóng điện rào cần

Hình 1: Hình ảnh phóng điện hào quang và phóng điện rào cần.

¹ Dây tóc của chất phóng điện rào cần thường được gọi là chất phóng điện vì mô, nhưng cơ chế phát triển của nó gần giống như cơ chế phát triển của chất truyền phát, vì vậy trong phần giải thích này chúng ta sẽ gọi nó là sự phóng điện của chất truyền phát.

Study on Reaction Process of Atmospheric-Pressure Streamer Discharge by Measuring Active Chemical Species Using Laser Spectroscopy
ONO Ryo

author's e-mail: ryo-ono@k.u-tokyo.ac.jp

J. Plasma Fusion Res. Vol.87, No.5 (2011)

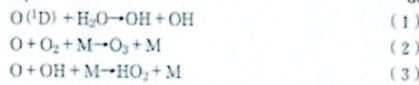
© 2011 The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research



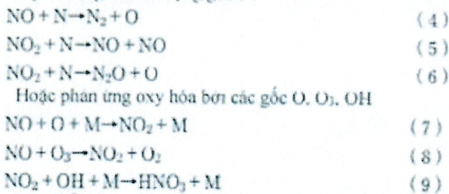
2. Thế hệ và phản ứng của các dòng hoạt động

Dựa trên mô phỏng quá trình loại bỏ NOx bằng dòng phóng điện [14], chúng tôi sẽ phân tích quá trình tạo ra và phản ứng của các dòng hoạt động. Phóng điện Streamer sử dụng nhiều điện áp khác nhau như dòng điện một chiều, dòng điện xoay chiều và điện áp xung, nhưng tất cả sự phóng điện xảy ra đều là phóng điện xung với thời gian từ 10 đến vài 100 ns [18, 19]. Trong quá trình phóng điện, các electron có năng lượng khoảng 1 - 10 eV được tạo ra và va chạm với các hạt trung tính trong khí nền. Khí nền thường là không khí và nó va chạm với N₂, O₂, H₂O, v.v. trong không khí. Kết quả là, các gốc như N, O, OH và H được tạo ra thông qua các phản ứng phân ly và va chạm (ví dụ: e + O₂ → e + O + O) và các phản ứng bẻ gãy và phân ly (ví dụ: e + O₂ → O + O). Ngoài ra, các ion như N₂⁺, N₄⁺, N⁺, O₂⁺, O₄⁺, O₃⁺, O₂⁻, O⁻, H₂O⁺, H⁻, N₂(v), N₂(A³Σ_u⁺), N₂(B³Π_g⁻), N₂(C³Π_u⁻), N₂(a¹Σ_g⁺), O₂(v), O₂(a¹Δ_g), N(D), O(D), v.v các dòng bị kích thích cũng được tạo ra.

Ngoài phản ứng va chạm điện tử, còn có các dòng hoạt động được tạo ra thông qua phản ứng hóa học của các dòng hoạt động.



Trong quá trình loại bỏ NOx, các hoạt chất được tạo ra theo cách này sẽ phản ứng theo thứ tự từ 1 μs đến 1 ms sau khi thải ra và loại bỏ NOx. NOx chủ yếu được loại bỏ bằng các phản ứng khử sử dụng gốc N.



Sản phẩm của phản ứng oxy hóa NO₂ và HNO₃ có thể được thu hồi bằng cách khử trong dung dịch [20]. Con đường phản ứng chính là phản ứng oxy hóa hay phản ứng khử phụ thuộc vào điều kiện phóng điện. Các phản ứng thực tế phức tạp hơn thế nhiều và các mô phỏng xem xét hàng chục đến hàng trăm phương trình phản ứng và trong một số trường hợp có tới 1.000 phương trình phản ứng [21].

Hình 2 thể hiện dưới dạng sơ đồ những thay đổi theo thời gian về nồng độ gốc tự do và NOx sau khi phóng điện, được vẽ dựa trên kết quả mô phỏng [14]. Các "gốc ban đầu" trong hình đại diện cho các gốc như O, N và OH được tạo ra do va chạm electron. Các gốc ban đầu được tạo ra bởi xung phóng điện và sau đó giảm dần với hằng số thời gian từ 1 μs đến 1 ms do các phản ứng khác nhau. "Các gốc thứ cấp" trong hình tượng trưng cho O₃, HO₂ được tạo ra bởi phản ứng của các gốc bậc một. Các gốc thứ cấp được tạo ra từ 1 đến 100 μs sau khi phóng điện, sau đó giảm dần với hằng số thời gian từ 100 μs đến 10 ms (hơn 1 s trong một số trường hợp). NOx bị khử bằng cách phản ứng với các gốc ban đầu và thứ cấp. Dòng phản ứng này giống nhau trong công nghệ sinh học, y học, xử lý bề mặt và hỗ trợ đốt cháy. Trong cả hai trường hợp, điểm mấu chốt là phản ứng của các chất hoạt động được tạo ra bởi sự phóng điện.

3. Phương pháp đo laser cho các dòng hoạt động

Có nhiều phương pháp khác nhau để đo laser của các dòng hoạt động, trong đó chúng tôi sẽ giải thích phương pháp hấp thụ laser thường được sử dụng và huỳnh quang cảm ứng bằng laser (LIF: laser-induced fluorescence).

3.1. Phương pháp hấp thụ tia laser

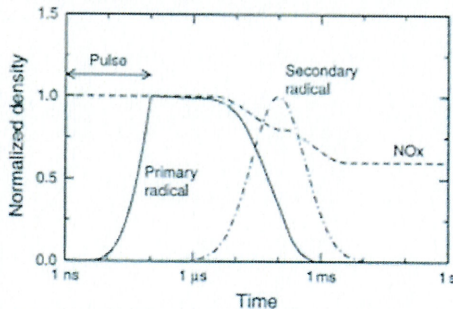
Khi một dòng hoạt động nhất định được chiếu xạ bằng ánh sáng ở bước sóng mà nó hấp thụ, ánh sáng sẽ được hấp thụ tỷ lệ với tổng số dòng hoạt động trên đường quang. Phương pháp xác định mật độ các dòng hoạt động từ tốc độ hấp thụ ánh sáng được gọi là phương pháp hấp thụ. Như được hiển thị trong Hình 3, cường độ ánh sáng ở khoảng cách từ điểm tới của ánh sáng được biểu thị bằng phương trình sau.

$$I(x) = I_0 \exp(-\sigma N x) \quad (10)$$

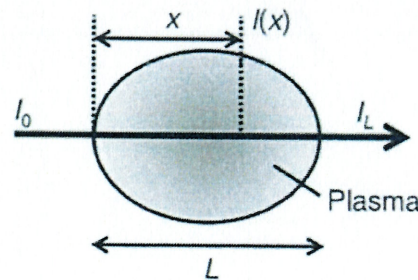
Đây là cường độ ánh sáng tới, σ là tiết diện hấp thụ và là mật độ của các dòng hoạt động. Nếu L là chiều dài của plasma theo hướng trục quang và I₀ là cường độ ánh sáng sau khi đi qua plasma thì $N = [1/(\sigma L)] \ln(I_0/I_L)$ giữ nguyên và mật độ có thể thu được từ tỷ lệ I₀/I_L. Ở đây, người ta giả định rằng N đồng nhất trong plasma, nhưng nếu không đúng như vậy thì phương trình sẽ trở nên phức tạp hơn.

3.2 LIF

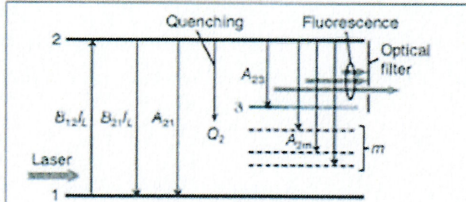
LIF có thể đo mật độ của các dòng hoạt động với độ nhạy cao hơn các phương pháp hấp thụ. Hình 4 thể hiện nguyên lý đo của LIF. Khi chiếu tia laser có bước sóng tương ứng với chênh lệch năng lượng giữa cấp độ 1 và cấp độ 2, chất hoạt động ở cấp độ 1 sẽ hấp thụ tia laser và bị kích thích lên cấp độ 2 (P₁₂ trong hình)



Hình 2 Sự thay đổi thời gian của gốc tự do và mật độ NOx trong quá trình xử lý NOx phóng điện sau khi xả. Độ rộng xung phóng điện 100 ns. Được tạo ra với sự tham khảo các kết quả mô phỏng trong tài liệu [14].



Hình 3: Đo độ hấp thụ.



Hình 4 Nguyên lý đo LIF.

Mức 2 được kích thích bằng phát xạ kích thích ($B_{12}I_L$), phát xạ tự phát (A_{21}) và đập tắt (chuyển tiếp không bức xạ: Q_2). Cường độ huỳnh quang I_{LIF} phát ra từ sự phát xạ tự phát tỷ lệ thuận với mật độ I_{LIF} cấp 1 ($I_{LIF} \propto N_1$). Mật độ N_1 có thể thu được bằng cách đo cường độ huỳnh quang I_{LIF} . Mỗi quan hệ tỷ lệ giữa I_{LIF} và N_1 thực sự phức tạp hơn một chút do ảnh hưởng của quá trình đập tắt [22].

Mật độ N_1 thu được bằng phép đo LIF không chính xác là mật độ của các dòng hoạt động, mà là mật độ ở mức độ quay của các dòng hoạt động. Nếu mật độ của mức quay J là N_J , năng lượng là E_J , tổng mật độ của tất cả các mức quay là $N = \sum N_J$ và nhiệt độ quay của dòng hoạt động là T_r , thì N_J tuân theo phân bố Boltzmann như sau.

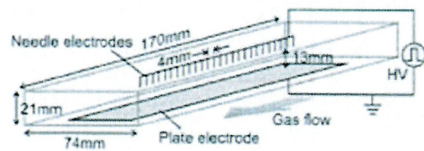
$$\frac{N_J}{N} = \frac{g_J \exp[-E_J/(kT_r)]}{Q_r} \quad (11)$$

Tuy nhiên, g_J là trọng số thống kê, $Q_r = \sum g_J \exp[-E_J/(kT_r)]$. Thứ chúng tôi muốn đo lường không phải là N_J . Bằng cách thay đổi bước sóng của tia laser và đo mật độ N_J ở một số mức quay, nhiệt độ quay của dòng hoạt động có thể thu được bằng phương trình (11) và cũng có thể thu được N . Ở áp suất khí quyển, nhiệt độ tịnh tiến và nhiệt độ quay nhìn chung có thể được coi là bằng nhau, do đó nhiệt độ tịnh tiến cũng có thể thu được từ T_r .

4. Cơ chế tiến triển của bộ truyền phát

Đề nghiên cứu cơ chế tạo ra các dòng hoạt động bằng cách phóng điện của bộ truyền phát, trước tiên cần phải hiểu cơ chế tạo ra phóng điện của bộ truyền phát. Phần này mô tả cơ chế tiến hóa của các bộ truyền phát dựa trên nghiên cứu của nhóm tác giả.

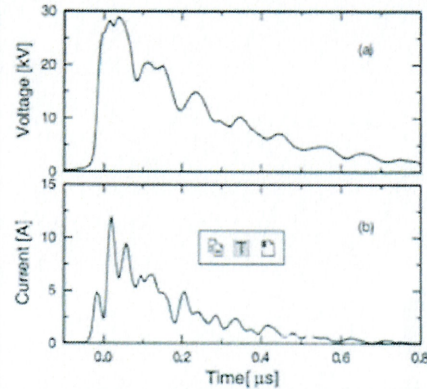
Hình 5 cho thấy lò phản ứng phóng điện được sử dụng trong nhóm tác giả. Sự phóng điện được tạo ra trong một lò phản ứng hình hộp như vậy sử dụng các điện cực dạng tấm kim đặt cách nhau 13 mm. Trong Hình 5, 25 điện cực kim được xếp thành một hàng cách nhau 4 mm, nhưng số lượng kim có thể thay đổi từ 1 đến 25 tùy theo thí nghiệm. Điện cực phẳng được nối đất và một điện áp xung dương có chiều rộng khoảng 100 ns được đặt vào điện cực kim như trong Hình 6(a). Tại thời điểm này, sự phóng điện của bộ truyền phát xảy ra giữa các điện cực và một dòng điện chạy như trong Hình 6(b). Các xung điện áp cao được tạo ra bởi một tụ điện và công tắc khe hở tia lửa.



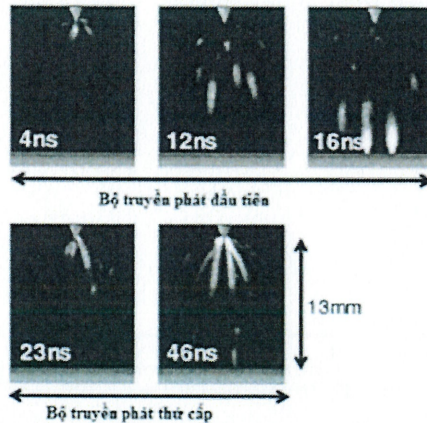
Hình 5 Lò phản ứng phóng điện.

Độ rộng xung điện áp được điều chỉnh bằng giá trị của điện trở lắp song song với điện cực. Dạng sóng trong Hình 6 là khí tụ điện được tích điện đến 32 kV ($V = 32$ kV). Xung phóng điện được áp dụng ở tần số khoảng 1 xung mỗi giây. Không khí ở áp suất khí quyển hoặc hỗn hợp nitơ-oxi được đưa vào lò phản ứng với tốc độ dòng 2 L/phút (tốc độ dòng chảy bên trong lò phản ứng là 2 cm/s) và độ ẩm có thể được thay đổi bằng thiết bị tạo bọt.

Hình 7 cho thấy ảnh về tiến trình của bộ truyền phát được chụp bằng camera ICCD với thời gian cổng là 5 ns. Trong ba bức ảnh đầu tiên, vùng phát quang dạng hạt tiến triển từ điện cực kim đến điện cực phẳng. Đây được gọi là đầu truyền phát hoặc bộ truyền phát ban đầu. Đầu phát tia có điện trường cực mạnh và tiến triển đồng thời ion hóa khí nền. Vùng dẫn điện giống như dây tóc được hình thành ở khu vực mà đầu truyền phát đi qua.



Hình 6 Ví dụ về điện áp phóng điện và dạng sóng dòng điện Khí quyển O₂ ẩm (2%)/N₂. 1 điện cực kim, V = 32 kV [22].



Hình 7: Ảnh tiến trình bộ truyền phát được chụp bằng camera ICCD. 1 điện cực kim, phóng điện O₂ (10%)/N₂, V = 27 kV.

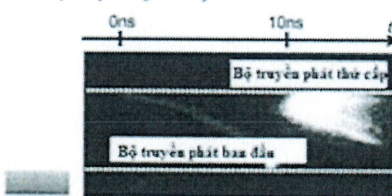
Khi đầu bộ truyền phát chạm tới điện cực phẳng, bộ truyền phát lại tiến dọc theo vùng dẫn điện này. Đây được gọi là bộ truyền phát thứ cấp. Như được hiển thị trong Hình 7, bộ truyền phát thứ cấp chỉ tiến từ điện cực kim đến một phần giữa các điện cực và không đến được điện cực phẳng (tham khảo [71] để biết chi tiết). Sự tiến triển này của các bộ phát chính và phụ cũng được quan sát rõ ràng trong bức ảnh chụp bằng camera sọc trong Hình 8.

Năng lượng trung bình của electron được cho là từ 5 đến 10 eV đối với các dòng chính và khoảng 1 eV đối với các dòng thứ cấp [18, 24, 25]. Do năng lượng điện từ của hai dòng khác nhau đáng kể nên hiệu suất tạo ra các loại hoạt động ở cả hai dòng cũng khác nhau đáng kể, như sẽ được mô tả sau.

Phần trên mô tả bộ truyền phát chính trong đó một điện áp dương được đặt vào điện cực kim. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu phép đo các dòng hoạt động trong bộ truyền phát tích cực này. Bộ truyền phát phụ, người ta quan sát thấy các đặc điểm tiến trình và hành vi của các dòng hoạt động khác với các đặc điểm tiến hóa ở các dòng tích cực, nhưng điều này sẽ không được giới thiệu trong phần bình luận này do hạn chế về không gian [26, 27].

5. Đo lường các dòng hoạt động của phóng điện bộ phát điện

Chúng tôi xin giới thiệu loạt các phép đo dòng hoạt động đo nhóm của chúng tôi thực hiện, được trình bày trong Bảng 1 [22, 28-33]. Tất cả các phép đo được thực hiện bằng cách sử dụng phóng điện vầng quang xung dương. O₃ được đo bằng phương pháp hấp thụ và các phép đo khác được đo bằng phương pháp LIF. OH và O₂(v=6) được đo bằng cách sử dụng LIF (LIPF: laser-induced predissociation fluorescence) phân ly sớm, giúp giảm sai số đo quá trình dập tắt, còn O và N được đo bằng cách sử dụng LIF hấp thụ hai photon (TALIF: two-photon absorption LIF), hấp thụ và kích thích đồng thời hai photon nhưng nguyên tắc cơ bản của cả hai đều giống như LIF. Ngoài ra, một số nhóm đã đo được O₃, OH, NO, N, N₂(A³Σ_g⁺) bằng cách sử dụng dòng phóng điện bộ truyền phát [34-43].



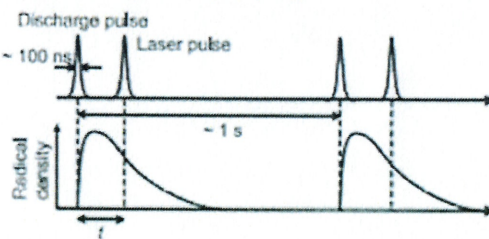
Hình 8: Ảnh tiên trình phát trực tiếp được chụp bằng camera sọc. Việc phóng điện được thực hiện trong các điều kiện khác với các điều kiện trong Hình 7.

Để đo, người ta sử dụng lò phản ứng giống như trong Hình 5 và chu kỳ của xung phóng điện là khoảng 1 xung mỗi giây. Trong công nghệ ứng dụng phóng điện hào quang xung, thường áp dụng vài chục đến hàng trăm xung mỗi giây, nhưng trong phép đo dòng hoạt động, bằng cách giữ chu kỳ ở mức thấp, các sản phẩm phóng điện (O, NO, HNO, v.v.) được giữ ở mức thấp nhất có thể. Thành phần của khí nền được đơn giản hóa, giúp phân tích kết quả đo nồng độ hoạt chất dễ dàng hơn.

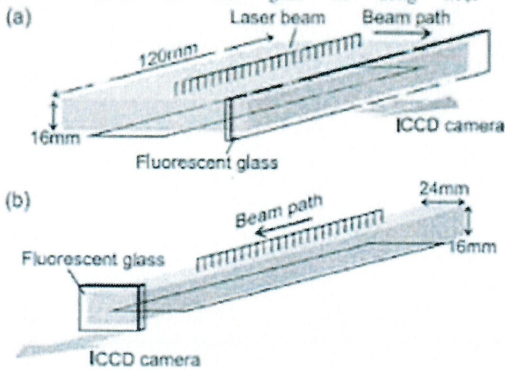
Hình 9 thể hiện biểu đồ thời gian đo. Mật độ dòng hoạt động tăng theo xung phóng điện và sau đó giảm dần. Xung laser được chiếu xạ với độ trễ thời gian kể từ xung phóng điện và mật độ dòng hoạt động được đo vài giây sau khi phóng điện. Bằng cách thay đổi thời gian trễ này, chúng tôi đo lường sự thay đổi mật độ dòng hoạt động theo thời gian sau khi phóng điện. Vì độ rộng xung laser là khoảng 20 ns nên độ phân giải thời gian của phép đo này cũng là khoảng 20 ns.

5.1 Đo ozone bằng phương pháp hấp thụ ban đầu thứ cấp

Các tác giả đã đo sự phân bố hai chiều của nồng độ ozone bằng phương pháp thể hiện trong Hình 10 [28]. Trong Hình 10(a), một chùm tia có tiết diện 120 × 16 mm² được chiếu xạ và tiết diện chùm tia sau khi đi qua vùng phóng điện được chiếu lên một tấm thủy tinh huỳnh quang.



Hình 9: Điều độ thời gian đo dòng hoạt động.



Hình 10: Đo độ hấp thụ hai chiều của ozone [28].

Bảng 1 Các phép đo đồng hoạt động do nhóm tác giả thực hiện. O₃ được đo bằng phương pháp hấp thụ và các phương pháp khác bằng LIF.

O ₃	Chuyển tiếp kích thích và bước sóng của LIF [nm]		Chuyển tiếp huỳnh quang và bước sóng của LIF [nm]		Phương pháp đo	Tài liệu
OH	A ² Σ-X ² Π (3, 0)	248	A ² Σ-X ² Π (3, 2)	297	LIPF	[22]
O	3p ³ P-2p ³ P	226	3p ³ P-3s ³ S	845	TALIF	[29]
N	3p ⁴ S°-2p ³ 4S°	207	3p ⁴ S°-3s ⁴ P	745	TALIF	[29]
N ₂ (A ³ Σ _g ⁻)	B ³ Π _g -A ³ Σ _g ⁻ (4, 0)	618	B ³ Π _g -A ³ Σ _g ⁻ (4, 1)	676	LIF	[30]
NO	A ² Σ ⁺ -X ² Π (0, 0)	226	A ² Σ ⁺ -X ² Π (0, 3)	259	LIF	[32]
O ₂ (v=6)	B ³ Σ _g ⁻ -X ³ Σ _g ⁻ (0, 6)	248	B ³ Σ _g ⁻ -X ³ Σ _g ⁻ (0, 13)	321	LIPF	[33]

Journal of Plasma and Fusion Research Vol.87, No.5 May 2011

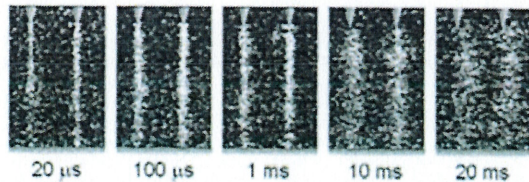
Do chùm tia được hấp thụ theo sự phân bố nồng độ ozone trong vùng phóng điện nên có thể thu được sự phân bố nồng độ ozone trong vùng phóng điện từ mô hình chùm tia chiếu lên tấm kính. **Hình 11** hiển thị ảnh chụp quá trình phóng điện và **Hình 12** cho thấy sự thay đổi theo thời gian trong phân bố nồng độ ozone sau khi phóng điện (so độ phóng to) [28]. Thời gian ghi bên dưới mỗi hình ảnh là thời gian trôi qua sau khi kết thúc quá trình phóng điện. Mặc dù hình ảnh bị nhiễu do độ nhạy đo thấp, nhưng vẫn quan sát thấy ozone được tạo ra bởi mỗi bộ truyền phát. Sau 1 ms, người ta quan sát thấy ozone khuếch tán và bị đồng khí nền quét từ trái sang phải trong hình.

Hình 13 cho thấy kết quả đo sự phân bố nồng độ ozone bằng cách chiếu chùm tia theo hướng dọc của lò phản ứng như trong **Hình 10(b)** [28]. Phép đo này có độ dài hấp thụ dài hơn phép đo trước nên độ nhạy của phép đo tốt hơn. Nhiễu tròn và tuyến tính xuất hiện ở 5 μs và 20 μs là sóng áp suất được tạo ra bởi sự phóng điện, như được mô tả sau. Cho đến 100 μs sau khi phóng điện, nồng độ ozone tăng lên do phản ứng tạo ra ozone (2). Từ tốc độ tăng ozone này, hệ số phân ứng của phản ứng (2) dưới sự phóng điện này có thể đạt được là 3,5 × 10⁻¹⁴ cm³/s. Bằng cách này, tốc độ phân ứng của các đồng hoạt động có thể được xác định từ sự thay đổi mật độ đồng hoạt động theo thời gian sau khi phóng điện.

Trong **Hình 13**, ozone chỉ được tạo ra ở một khoảng cách nhất định tính từ điện cực kim và hầu như không có ozone nào được tạo ra gần điện cực phẳng. Điều này chỉ ra rằng ozone chủ yếu được tạo ra trong dòng thứ cấp. **Hình 14** cho thấy sự phân bố theo trục của cường độ phát quang phóng điện và nồng độ ozone khi điện áp phóng điện được đặt thành 18, 24 và 30 kV. Trục ngang là khoảng cách từ điện cực kim và trục dọc được chuẩn hóa cho phù hợp.



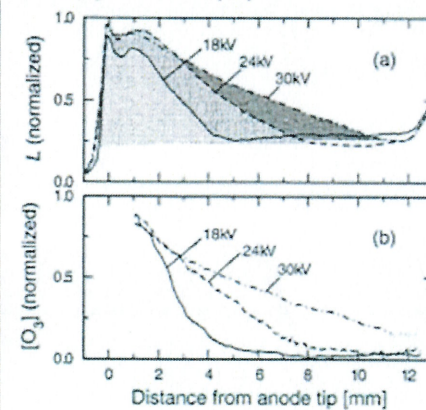
Hình 11 Ảnh phóng điện [28].



Vùng màu xám trong **Hình 14(a)** là bộ truyền phát thứ cấp và vùng còn lại là bộ truyền phát ban đầu. Có thể thấy rằng khi điện áp tăng thì chiều dài phát triển của bộ truyền phát thứ cấp cũng tăng. So sánh **Hình 14(a)** và **(b)**, sự phân bố nồng độ ozone và sự phân bố phát thải dòng thứ cấp rất phù hợp ở bất kỳ điện áp nào. Điều này chỉ ra rằng ozone chủ yếu được tạo ra trong dòng thứ cấp.

5.2 Đo phân bố một chiều của gốc OH bằng LIF

Tiếp theo, chúng tôi sẽ giới thiệu phép đo OH LIF. **Hình 15** thể hiện phương pháp đo LIF. Tia laser có tiết diện 2 × 8 mm² được chiếu ở khoảng cách mm tính từ điện cực kim để kích thích OH. Huỳnh quang phát ra từ OH bị kích thích được đo từ hướng vuông góc với tia laser. Điều chỉnh độ rộng khe ở phía bộ tách sóng quang và đo huỳnh quang OH bên trong vùng đo 2 × 8 × 8 mm³ như trong hình. Phép đo này cung cấp số lượng phân tử gốc OH trong vùng đo. Mật độ OH có thể thu được bằng cách chia giá trị này cho thể tích của bộ truyền phát trong khu vực đo. Bằng cách làm cho mặt cắt ngang của khu vực đo rộng tới 8 × 8 mm², hầu hết các bộ truyền phát trải ra như trong **Hình 1(a)**, đi qua khu vực đo, do đó giảm thiểu lượng OH rò rỉ vào phép đo.





Cam kết

Chúng tôi, Phòng Product Marketing - Daikin Vietnam, chịu trách nhiệm tổng hợp thông tin dựa trên các báo cáo thử nghiệm từ tập đoàn Daikin. Chúng tôi cam kết thông tin là trung thực và chính xác.

Trong trường hợp có bất kỳ thay đổi hoặc điều chỉnh nào, chúng tôi sẽ cập nhật sau.

A handwritten signature in blue ink that reads "Tamba".

Akihito Tamba

Phó Giám Đốc

Phòng Product Marketing

Daikin Vietnam

