

Ứng dụng LED tử ngoại để diệt khuẩn trong thiết bị lọc nước

Application of Ultraviolet LED for Sterilizing in Water Purifier

Trần Thiên Đức^{1,*}, Lê Minh Tân¹, Trần Thu Thủy¹, Vũ Duy Đạt¹,
Cao Xuân Trường¹, Nguyễn Đình Hữu Đức²

¹ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam.

² Trường PTTH chuyên Hà Nội - Amsterdam, Số 1 Hoàng Minh Giám, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

Đến Tòa soạn: 25-12-2017; chấp nhận đăng: 28-9-2018

Tóm tắt

LED tử ngoại với bước sóng 275 nm và công suất phát xạ 4.5 mW đã được ứng dụng diệt khuẩn trong thiết bị lọc nước. Khả năng diệt khuẩn của thiết bị lọc được khảo sát qua quá trình diệt khuẩn E.Coli. Mẫu nước được cấy vi khuẩn E.Coli với mật độ 6800 CFU/100 ml trước khi được chiếu xạ. Thời gian chiếu xạ được khảo sát trong bài báo là 15s; 30s; 60s. Kết quả cho thấy, mật độ khuẩn giảm mạnh theo thời gian. Với thời gian chiếu 30s, nồng độ khuẩn đo được là 3 CFU/100 ml, ứng với tỷ lệ diệt khuẩn 99,995%. Hệ thống đèn LED UVC cũng đã được thiết kế để tối ưu hoá vùng chiếu và thời gian chiếu, qua đó hiệu suất diệt khuẩn sẽ được nâng cao.

Từ khóa: LED, UVC, E.Coli, GaN

Abstract

UVC LED with a wavelength of 275 nm and emission power of 4.5 mW was applied to sterilize in water purifier. The ability to sterilization of water purifier was studied on E.Coli bacteria. E.Coli bacteria were added into the water sample with a concentration of 6800 CFU/100 ml before irradiating. The irradiating time is set up at different values of 15 s; 30 s; 60 s. The result shows that, the bacteria concentration rapidly decreases with an increase of irradiating time. With the duration of 30 s, the bacteria concentration after irradiating is about 3 CFU/100 ml, corresponding to the sterilization ratio of 99,995%. The UVC LED system was also designed to optimize the irradiating area and time, thereby the sterilization efficiency will be enhanced.

Keywords: LED, UVC, E.Coli, GaN

1. Giới thiệu

Năm 1969, Maruska và Tietjen đã sử dụng phương pháp epitaxy hydride pha hơi (HVPE) để tổng hợp hợp chất bán dẫn đa tinh thể GaN lần đầu tiên [1]. Ngay sau đó, GaN đã thu hút được rất nhiều nghiên cứu và đã thu được các đột phá quan trọng như việc chế tạo thành công bán dẫn đơn tinh thể GaN, InGaN; điều khiển được độ dẫn của bán dẫn loại p-GaN, chế tạo thành công đèn LED và Laser với cường độ sáng cao [2-10]. Một trong những đột phá về công nghệ LED chính là sự ra đời của LED tử ngoại, dựa trên chuyển tiếp p-n với vùng hoạt động đa giếng thế lượng tử [2].

Công nghệ diệt khuẩn bằng tia tử ngoại đã tồn tại nhiều năm, nhưng phương pháp hoá vẫn được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng ngày nay. Tuy nhiên,

diệt khuẩn bằng tia tử ngoại có nhiều ưu điểm hơn so với phương pháp hoá như không ảnh hưởng đến mùi vị của nước, không sử dụng các vật liệu độc hại, không tạo ra các sản phẩm phụ, các hợp chất vô cơ, ngoài ra tia UV có thể diệt nhiều khuẩn trong nước hơn là phương pháp sử dụng clo [11]. Khi sử dụng tia UV để diệt khuẩn, đèn thủy ngân thường đã được ứng dụng rộng rãi trước đây. Trong những năm gần đây, công nghệ chế tạo đèn LED UV đã được cải tiến và giá thành chế tạo ngày càng giảm nhanh chóng. Điều này đã tạo điều kiện để LED UV dần dần thay thế các ứng dụng sử dụng đèn thủy ngân. Những ưu điểm của LED UV so với đèn thủy ngân có thể kể đến như thời gian sử dụng dài, thân thiện với môi trường do không sử dụng thủy ngân, công suất tiêu thụ ít, nhiệt tạo ra trong quá trình sử dụng không nhiều.

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 902.468.000

Email: duc.tranthien@hust.edu.vn

Bảng 1. Bảng so sánh các chỉ tiêu, thông số của LED UV và đèn thủy ngân

	UV LED	Đèn thủy ngân
Thời gian sử dụng	>20000 giờ	500 – 2000 giờ
Môi trường	Không sử dụng thủy ngân, không tạo ra ozone	Sử dụng thủy ngân, tạo ra ozone
Công suất tiêu thụ	Nhỏ	Lớn
Bảo dưỡng	Ít	Nhiều (thay bóng, làm sạch lớp phản xạ)
Tốc độ bật tắt	Tức thời	Vài phút
Nhiệt độ	60°C	350°C

2. Thực nghiệm

Dựa trên tính toán thể tích chiếu, hệ thống LED UV sử dụng trong thiết bị lọc diệt khuẩn gồm 12 đèn tương đương với thể tích chiếu xạ 65 ml. Thiết bị gồm hai buồng chiếu làm bằng thép không gỉ có hình trụ có bán kính 2 cm và chiều cao 6 cm. Trong mỗi buồng, gồm một hệ thống gồm 6 đèn được bố trí để đảm bảo nước trong buồng được chiếu xạ hoàn toàn. Khoảng cách từ đèn đến lớp nước gần nhất là 6 mm. Độ dày của lớp nước được chiếu xạ là 14 mm. Đèn được ngăn cách với nước bằng một ống thủy tinh thạch anh có đường kính ngoài 12 mm và dày 1 mm.

Để thuận tiện cho việc tính toán và theo dõi, lượng nước sử dụng để nuôi cấy vi khuẩn E.Coli là 65 ml. Tại Việt Nam, lượng E.Coli tồn tại trong nước giếng và nước mưa tại các vùng có sự khác biệt khác lớn và trải dài từ 93 CFU/100 ml cho đến 5800 CFU/100 ml [12-14]. Để tăng tính thuyết phục và đảm bảo an toàn trong việc khử khuẩn E.Coli, nhóm tác giả đã cấy E.Coli ở mức 6.000 CFU/100ml.

- Bước 1: Chuẩn bị các mẫu thử có mật độ khuẩn là 6.000 CFU/100 ml theo quy trình sau:

+ Thêm E. coli vào môi trường nước, mật độ ước lượng ban đầu là 60 CFU/ml. Mật độ khuẩn E.coli được xác định dựa trên phương pháp OD600nm, trong đó hệ máy OD Thermo scientific Biomate 3 được sử dụng. Khi mật độ OD600nm bằng 1 thì mật độ E.coli tương đương với 8x10⁸ CFU/ml. Để pha loãng dịch nuôi cấy E. coli đến OD mong muốn. Sau đó, pha loãng dịch trên vào 300 ml môi trường nước để đạt được mật độ cần thiết.

+ Để biết mật độ E. coli thực tế, sử dụng phương pháp đếm số lượng vi sinh vật còn sống bằng cách trải đĩa, đếm số lượng khuẩn lạc để tính CFU/ml.

- Bước 2: Chiếu xạ tia tử ngoại bằng cách sử dụng đèn LED UVC. Các mẫu thử sẽ được đưa vào bình diệt khuẩn và thời gian chiếu sẽ được điều chỉnh bởi tốc độ lưu lượng nước được đưa vào bình thông qua một van điều tiết. Sau mỗi lần chiếu đèn diệt khuẩn sẽ tiến hành vệ sinh bình diệt khuẩn.

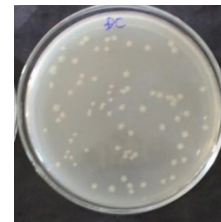
- Bước 3: Khảo sát mật độ khuẩn E.coli

+ Mẫu sau khi chiếu xạ sẽ được pha loãng ra 10⁻¹, 10⁻² để trải đĩa, ứng với mỗi nồng độ nhất định, khuẩn E.coli được trải đều trên ba đĩa và được chiếu xạ trong thời gian 15 s, 30 s và 60 s.

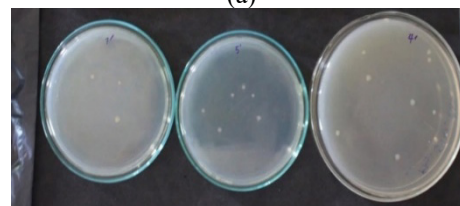
+ Các đĩa trải khuẩn sẽ được ủ ở 37°C để vi khuẩn mọc thành khuẩn lạc. Mật độ khuẩn E.coli sẽ được xác định trên quá trình đếm số khuẩn lạc trung bình ứng với mỗi nồng độ.

Các mẫu thử sẽ được chia thành bốn mẫu gồm một mẫu dùng để đối chiếu, ba mẫu còn lại ứng với thời gian chiếu xạ khác nhau là 15 s, 30 s, 60 s.

3. Kết quả và thảo luận



(a)



(b)

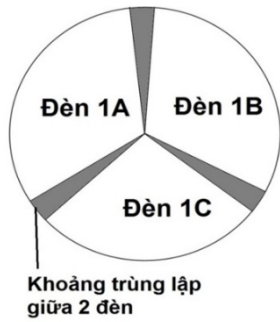
(c)

(d)

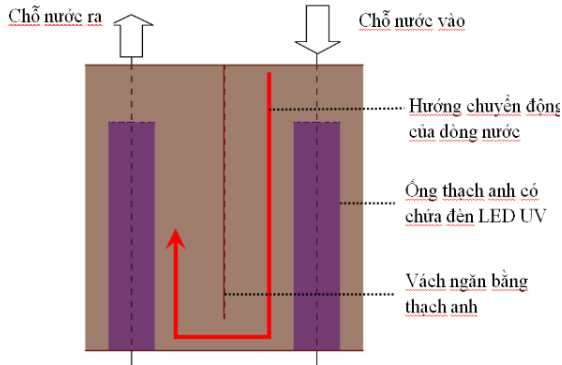
Hình 1. Đĩa trải khuẩn: (a): chưa chiếu xạ, (b): chiếu xạ trong 60 s, (c) chiếu xạ trong 30 s, (d) chiếu xạ trong 15 s.

Hình 1 mô tả đĩa trải khuẩn khi chưa chiếu xạ và chiếu xạ với lượng thời gian khác nhau (15 s; 30 s; 60 s). Kết quả cho thấy thời gian chiếu xạ càng tăng thì mật độ khuẩn E.Coli còn lại trong mẫu càng giảm. Với thời gian chiếu là 60 s thì mật độ khuẩn E.Coli còn lại trong mẫu là 3 CFU/100 ml.

Bảng 2 tóm tắt kết quả khảo sát mật độ E.coli nuôi cấy còn lại sau khi chiếu xạ với thời gian chiếu khác nhau. Khi tăng thời gian chiếu thì lượng E.coli bị diệt sẽ tăng lên. Như vậy, để nâng cao hiệu quả diệt khuẩn thì bên cạnh thông số cường độ chiếu xạ thì thông số thời gian chiếu xạ cũng đóng vai trò rất quan trọng. Để tăng thời gian chiếu xạ thì thiết bị lọc nước cần được thiết kế sao cho thời gian nước chảy qua vùng chiếu xạ càng lâu càng tốt.



Hình 2. Đèn LED được bố trí theo hình sao



Hình 3. Sơ đồ cấu tạo buồng chiếu xạ



Hình 4. Buồng chiếu xạ thực tế

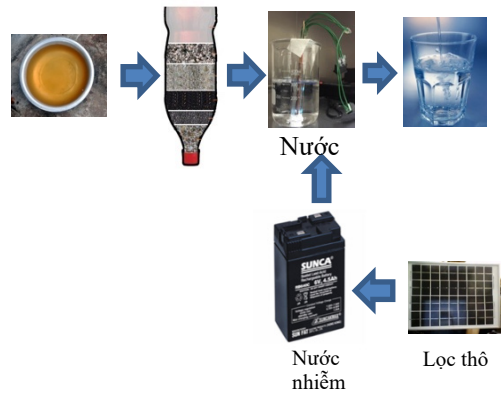
Đèn LED UVC được sử dụng trong bài báo trong đó góc mở chiếu sáng hiệu quả là 130°. Khi góc mở lớn hơn 130°, hiệu suất diệt khuẩn của đèn giảm xuống dưới 50% hiệu suất diệt khuẩn sẽ không cao trong vùng này. Do đó, để nâng cao hiệu quả chiếu xạ thì hệ đèn LED sẽ được bố trí theo hình sao như hình 2. Với thiết

kế này, tất cả không gian trong buồng chiếu xạ sẽ được chiếu xạ với cường độ tối ưu nhất. Để tăng thời gian chiếu xạ, nhóm tác giả đã thiết kế buồng chiếu xạ như hình 3, 4. Trong đó nước đi vào từ phía trên và đi chuyển xuống đáy của bình để chuyển sang khoang chiếu xạ thứ hai rồi đi ra ngoài. Giữa hai khoang được ngăn cách bởi vách thạch anh, do đặc tính trong suốt đối với các bức xạ tử ngoại. Với thiết kế này, nước sẽ luôn được chiếu xạ khi chảy trong bình từ lúc đầu vào đến đầu ra.

Bảng 2. Tóm tắt kết quả khảo sát mật độ E.Coli ứng với các thời gian chiếu xạ khác nhau

Vì khuẩn	Thời gian chiếu (s)	Lượng <i>E. coli</i> sau khi chiếu (cfu/100ml)	Tỷ lệ diệt khuẩn (%)
<i>E. Coli</i>	15	10	99,83
	30	5	99,92
	60	3	99,95

Trên cơ sở kết quả khảo sát quá trình diệt khuẩn *E.Coli* bằng đèn LED UV, nhóm tác giả đã xây dựng hệ thống diệt khuẩn gồm hai bước là lọc thô và diệt khuẩn (hình 5). Trong đó, nguồn điện cho LED có thể lấy trực tiếp từ hệ thống pin ắc qui sạc bằng năng lượng mặt trời hoặc lấy trực tiếp từ nguồn 220 V ADC thông qua bộ chuyển đổi.



Hình 5. Sơ đồ tổng thể hệ thống lọc nước

Thiết bị lọc nước đã được thử nghiệm với các nguồn nước lấy từ Tuyên Quang và Hà Giang. Các mẫu nước sau được lọc thô và chiếu xạ được kiểm tra với mười một chỉ tiêu cơ bản để xem các mẫu nước sau khi xử lý có đáp ứng được tiêu chuẩn nước sinh hoạt ở Việt Nam. Từ bảng 2, ta thấy chất lượng nước sau khi qua bộ lọc đã được cải thiện đáng kể, đặc biệt là lượng khuẩn *E.Coli* đã được diệt hoàn toàn. Chất lượng nước của hai mẫu hoàn toàn đáp ứng các tiêu chuẩn về nước sinh hoạt của Việt Nam. Như vậy, với thiết kế này hiệu

suất diệt khuẩn của thiết bị hoàn toàn đáp ứng nhu cầu về nước sinh hoạt hiện nay tại Việt Nam.

Bảng 3. Kết quả khảo sát mẫu nước ở hai tỉnh Tuyên Quang và Hà Giang (TQ0: mẫu Tuyên Quang trước khi xử lý, TQ1: mẫu Tuyên Quang sau khi xử lý, HG0: mẫu Hà Giang trước khi xử lý, HG1: mẫu Hà Giang sau khi xử lý)

Thông số	Đơn vị	Kết quả			
		TQ0	TQ1	HG0	HG1
pH	-	7,0			
Độ màu	Pt/Co	19	6	15	<5
Độ đục	NTU	11	0,5	14	0,4
Clo dư	mg/L	<0,2			
Cl ⁻	mg/L	36	27	41	26
F ⁻	mg/L	0,019	0,015	0,021	0,014
As	mg/L	0,009	0,005	0,008	0,004
Fe	mg/L	0,6	0,4	0,8	0,5
NH ⁴⁺ - N	mg/L	0,052	0,044	0,077	0,039
Coli form	MPN/100mL	70	0	90	0
Ecoli	MPN/100mL	11	0	13	0

TG0: Tuyên Quang, chưa chiếu xạ, TG1: Tuyên Quang, chiếu xạ; HG0: Hà Giang, chưa chiếu xạ; HG1: Hà Giang, chiếu xạ

4. Kết luận

Hệ thống lọc nước gồm hai bước lọc thô và chiếu xạ sử dụng đèn LED UV đã được chế tạo thành công. Kết quả khảo sát cho thấy, khi tăng thời gian chiếu xạ thì lượng khuẩn E.Coli bị tiêu diệt sẽ tăng lên. Ở thời gian chiếu xạ là 60 s thì 99,95% lượng khuẩn E.Coli đã bị diệt và chất lượng nước lúc này đáp ứng được tiêu chuẩn nước sinh hoạt ở Việt Nam. Việc bố trí đèn LED theo hình sao và thiết kế để tăng thời gian chiếu xạ nước trong bồn diệt khuẩn cho thấy hiệu quả chiếu xạ. Với tổng chi phí chế tạo thấp và thời gian sử dụng dài do tuổi thọ đèn LED UV cao (20.000 giờ), thiết bị hoàn toàn có thể ứng dụng và triển khai tại các vùng đang gặp khó khăn về chất lượng nguồn nước. Thiết bị lọc nước được thử nghiệm với các nguồn nước lấy từ Tuyên Quang và Hà Giang. Các mẫu nước sau khi được lọc thô và chiếu xạ đều đáp ứng được tiêu chuẩn nước sinh hoạt ở Việt Nam.

Lời cảm ơn

Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ về tài chính của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội với mã số đề tài T2016-PC-221.

Tài liệu tham khảo

- [1] H.P. Maruska, J.J. Tietjen, The preparation and properties of vapor deposited single crystalline GaN, *Appl. Phys. Lett.* 15 (1969) 327-329.
- [2] B.J. Baliga, Gallium nitride devices for power electronic applications, *Semicond. Sci. Technol.* 28 (2013) 74011.
- [3] I. Akasaki, GaN-Based p-n Junction Blue-Light-Emitting Devices, *Proc. IEEE* 101 (2013) 2200–2210.
- [4] S.P. Denbaars, Gallium-Nitride-Based Materials for Blue to Ultraviolet Optoelectronics Devices, *Proc. IEEE* 85 (1997) 1740-1749.
- [5] T.P. Chow, High-voltage SiC and GaN power devices, *Microelectron. Eng.* 83 (2006) 112–122.
- [6] M. Kim, O. Seok, M.K. Han and M.W. Ha, AlGaIn/GaN High-Electron-Mobility Transistor Using a Trench Structure for High-Voltage Switching Applications, *Appl. Phys. Res.* 4 (2012) 1-7.
- [7] Z.M. Zhao, R.L. Jiang, P. Chen, D.J. Xi, Z.Y. Luo, R. Zhang, B. Shen, Z.Z. Chen, Y.D. Zheng, Metal-semiconductor-metal GaN ultraviolet photodetectors on Si(111), *Appl. Phys. Lett.* 77 (2000) 444-446.
- [8] D.J. Seo, J.P. Shim, S.B. Choi, T.H. Seo, E.K. Suh and D.S. Lee, Efficiency improvement in InGaIn-based solar cells by indium tin oxide nano dots covered with ITO films, *Opt. Express* 20 (2012) A991-A996.
- [9] S. Nakamura, M. Senoh, N. Iwasa, S. Nagahama, T. Yamada, T. Mukai, Superbright Green InGaIn Single-Quantum-Well-Structure Light-Emitting Diodes, *Jpn. J. Appl. Phys.* 34 (1995) L1332-L1335.
- [10] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, Candela-class high-brightness InGaIn/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes, *Appl. Phys. Lett.* 64 (1994) 1687-1689.
- [11] http://www.cisuvc.com/content/documents/files/Healthcare_Brochure.pdf
- [12] H.T. Thông, N.V. Ch�ào, H.L.Q. Ch�au, V.V. Hài, N.T.Q. Anh, P.H.X. Hung, V.C. Cuong, V.T.K. Ván, S. Sven, Mật E.Coli và nồng độ Nitrat trong hồ phân, nước thải hầm Biogas, và nước giếng ở thị xã Hương Trà, Tỉnh Thừa Thiên Huế, *Tạp chí khoa học – Đại học Huế* 9 (2014), 189-199.
- [13] <http://www.daikynguyenvn.com/viet-nam/truc-khuan-e-coli-tren-song-sai-gon-dong-nai-deu-vuot-qua-chuan-cho-phep-cua-who.html>
- [14] N.T.T. Hà, D.M. Viễn, Khảo sát nguy cơ nhiễm Coliforms, Salmonella, Shigella và E.Coli trên rau ở vùng trồng rau chuyên canh và biện pháp cải thiện, *Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ* 25 (2013) 98-108.