

Nghiên cứu chế tạo cảm biến NDIR đo khí CO₂ dải nồng độ thấp để áp dụng cho điều hòa không khí trong nhà giảm tác động xấu đến sức khỏe con người

Trịnh Mỹ Anh¹, Đặng Lê Gia Hân¹, Mai Ngọc Linh¹,
Phạm Duy Tân², Bùi Xuân Khuyển^{2*}, Hồ Trường Giang²

¹Trường THPT chuyên Hùng Vương Gia Lai, 48 Hùng Vương, Pleiku, Gia Lai;

²Học Viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

*Email: khuyenbx@ims.vast.ac.vn.

Nhận bài ngày 02/12/2021; Hoàn thiện ngày 18/01/2022; Chấp nhận đăng ngày 14/02/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.77.2022.120-127>

TÓM TẮT

Khí CO₂ không chỉ là tác nhân gây biến đổi khí hậu toàn cầu mà có thể ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người. Gần đây, các nhà khoa học cũng phát hiện ra rằng nếu con người bị phơi nhiễm trong thời gian dài với khí CO₂ ngay ở vùng nồng độ thấp (lân cận 5000 ppm) đã có thể gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe thần kinh của con người. Điều này hiện càng được quan tâm là do cuộc sống hiện đại con người thường xuyên sống trong môi trường có không gian kín, kém thông khí giữa môi trường trong nhà và ngoài trời (ví dụ như lớp học, nhà chung cư, văn phòng, ...). Khí CO₂ vùng nồng độ thấp này dễ gặp phải có nguyên nhân từ các nguồn phát thải như hơi thở của con người sống trong đó, từ bếp nấu ăn, ... Nguy hiểm hơn, ở vùng nồng độ CO₂ thấp con người không có khả năng tự nhận biết và không có biểu hiện triệu chứng cấp tính khi bị phơi nhiễm, do khí CO₂ là không màu, không mùi và không vị, nó gây những tác động một cách âm thầm, lâu dài và từ từ. Ảnh hưởng của khí CO₂ vùng nồng độ thấp tới sức khỏe con người, đặc biệt đối với trẻ nhỏ hoặc người có thể trạng yếu, có thể liên quan đến bệnh về hô hấp, máu, thận, xương, thần kinh, giảm hiệu quả trong học tập và lao động. Bài báo này trình bày nghiên cứu chế tạo cảm biến đo khí CO₂ theo nguyên lý hấp thụ hồng ngoại cho đo vùng nồng độ thấp (0 ÷ 10.000 ppm) để đáp ứng cho áp dụng trong hệ thống tự động giám sát và điều hòa nồng độ khí CO₂ trong nhà. Cảm biến khí CO₂ được thiết kế và chế tạo theo cấu hình không tán sắc (NDIR) sử dụng đầu thu hồng ngoại hai kênh. Cảm biến cũng được thiết kế mà không cần thêm bơm mẫu khí vào buồng đo khi sử dụng lớp gôm xốp để khí trong môi trường tự động khuếch tán vào/ra buồng đo. Cảm biến chế tạo cho độ phân giải tốt có thể đạt 2 ppm, giới hạn phát hiện (LoD) đạt 0,5 ppm và độ lệch chuẩn đạt 10 ppm.

Từ khóa: Cảm biến khí NDIR; Ảnh hưởng CO₂ tới sức khỏe con người; CO₂ vùng nồng độ thấp không khí trong nhà.

1. GIỚI THIỆU

Ô nhiễm môi trường không khí từ các tác nhân như khí độc (ví dụ CO, CO₂, NO, NO₂, NH₃, H₂S, SO₂, ...) và bụi mịn (PM10, PM2.5) ngày càng hiện hữu trong cuộc sống hiện đại [1, 2]. Trong đó, CO₂ là khí có mặt khá thường xuyên và phổ biến trong cuộc sống hàng ngày. Theo các tài liệu khoa học, nồng độ khí CO₂ trong bầu khí quyển (môi trường không khí thông thường chúng ta đang sống) là cỡ 300 ÷ 500 ppm. Theo cơ quan an toàn lao động Hoa Kỳ (OSHA), giới hạn nồng độ CO₂ cho phép con người hít thở hay phơi nhiễm liên tục trong thời gian 8 giờ là 5000 ppm và trong 15 phút là 30.000 ppm. Tuy vậy, những nghiên cứu gần đây đặc biệt quan tâm ảnh hưởng tới sức khỏe con người khi phơi nhiễm khí CO₂ ở vùng nồng độ thấp (500 ÷ 5000 ppm), do đây là vùng nồng độ xuất hiện khá phổ biến trong cuộc sống hiện đại ngày nay khi con người sống thường xuyên trong các môi trường kín, thông gió kém với không khí ngoài trời, ví dụ như phòng học, văn phòng làm việc, phòng ở trong các chung cư, ... [3]. Những nơi này thường xuyên có các nguồn CO₂ phát thải như khí thở của con người sống trong đó, bếp nấu ăn, thiết bị và máy móc trong quá trình hoạt động, ... Khí CO₂ tương đối trơ, do đó nó có thể tồn tại lâu dài trong môi trường không khí trong nhà. Hơn nữa, nhu cầu sử dụng điều hòa ngày càng

thường xuyên trong cuộc sống hiện đại và để giảm tiêu thụ điện năng sẽ tạo ra tỷ lệ thông gió thấp giữa không khí bên ngoài và bên trong nhà, dẫn đến tình trạng con người bị phơi nhiễm nồng độ CO₂ trong nhà sẽ càng phổ biến. Các môi trường này đều có thể có nồng độ khí CO₂ vượt quá 1000 ppm và là không gian mà mọi người thường ở trong nhiều giờ, có thể chiếm 60 ÷ 80% thời gian mà họ sống hoặc làm việc trong đó. Các nghiên cứu gần đây nhận thấy nồng độ CO₂ trong nhà vùng nồng độ thấp (500 ÷ 5000 ppm) có thể tác động xấu đến thần kinh và sức khỏe thể chất, làm giảm hiệu quả trong học tập và làm việc của con người [3]. Tài liệu khoa học đã công bố cho thấy những bằng chứng rõ ràng liên quan của khí CO₂ vùng nồng độ thấp đến các bệnh cụ thể như về hô hấp, tổn thương mạch máu, thận, xương, bệnh về thần kinh,... [4]. Mặc dù chúng ta thường để ý các khí có độc tính cao (ví dụ như NO₂, NO, SO₂, H₂S, NH₃, CO,...) phát thải từ các quá trình công nghiệp (như nhiệt điện, xi-măng, gốm, sắt thép,...) gây ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng tới sức khỏe con người [2]. Tuy vậy, ảnh hưởng các khí này thường chỉ xảy ra ở khu vực nhỏ (gần với nguồn phát thải), thời gian tác động không quá dài, triệu chứng cấp tính và tác động đến một số lượng ít người. Trong khi đó ảnh hưởng của khí CO₂ là âm thầm trong thời gian dài làm cho con người khó nhận biết và triệu chứng không cấp tính, vì thế nó đã chưa thực sự được quan tâm thích đáng.

Ví dụ điển hình nghiên cứu khí CO₂ ảnh hưởng đến sức khỏe con người được Kenichi và các cộng sự [3] công bố trong báo cáo tổng quan trên tạp chí quốc tế "Environment International" năm 2018. Bài báo đã dẫn chứng các phát hiện gần đây về sự giảm hiệu suất ra quyết định của con người khi bị phơi nhiễm với khí CO₂ từ 600 đến 2500 ppm; và tác động của nồng độ CO₂ cỡ 2000 ppm có liên quan đến các phản ứng viêm nhiễm, có thể dẫn đến tổn thương mạch máu của con người khi bị phơi nhiễm. Ngoài ra, bài báo tổng quan này cũng cho thấy một nghiên cứu điển hình về việc tiếp xúc kéo dài với nồng độ CO₂ từ 2000 đến 3000 ppm có liên quan đến các ảnh hưởng xấu đến sức khỏe bao gồm căng thẳng, vôi hóa thận và khử khoáng xương. Satish và cộng sự [5] đã nghiên cứu và nhận thấy sự sụt giảm đáng kể hiệu suất nhận thức (ra quyết định và giải quyết vấn đề) của con người khi bị phơi nhiễm ở nồng độ CO₂ trên 1000 ppm. Nghiên cứu của Maula và cộng sự [6] khi thực hiện trên 36 người tham gia trong thời gian 4 giờ trong điều kiện A (thông khí trong phòng với không khí ngoài trời ở tốc độ 28,2 lít/giây để có nồng độ CO₂ trong phòng là 540 ppm) và điều kiện B (thông khí trong phòng với không khí ngoài trời ở tốc độ 2,3 lít/giây để có nồng độ CO₂ trong phòng là 2260 ppm). Kết quả cho thấy điều kiện B có ảnh hưởng rõ ràng đến hiệu suất trong các nhiệm vụ truy xuất thông tin và gia tăng sự mệt mỏi. Một nghiên cứu rất thú vị khác được thực hiện bởi Petersen và cộng sự [7] khi thực nghiệm với đối tượng học sinh tiểu học cho thấy việc tăng lượng cung cấp không khí ngoài trời vào phòng để giảm nồng độ CO₂ từ 1500 ppm xuống 900 ppm đã cải thiện đáng kể hiệu suất học tập của học sinh. Hiện tại, nồng độ CO₂ trong nhà cũng là một chỉ số trong đánh giá chất lượng không khí trong nhà của các nước như Nhật Bản, Canada, Singapore, Na Uy,...

Như vậy, các nghiên cứu gần đây cho thấy tình trạng và ảnh hưởng của khí CO₂ ở vùng nồng độ thấp tác động xấu đến con người về giảm hiệu suất làm việc, nhận thức, học tập, sức khỏe và có thể cả những yếu tố khác chưa biết nữa. Do đó, chúng ta cần có sự quan tâm thích đáng và đưa ra những giải pháp để giảm thiểu tác động xấu này. Cách tiếp cận đơn giản nhất sử dụng kỹ thuật tự động điều hòa hay thông gió giữa không khí trong phòng và không khí ngoài trời khi sử dụng loại linh kiện cảm biến khí CO₂ có đủ mức độ tin cậy và khả năng hoạt động liên tục.

Cảm biến khí nguyên lý hấp thụ hồng ngoại được xem là giải pháp tối ưu cho ứng dụng trong thiết bị hoặc hệ thống đo liên tục nồng độ khí CO₂ trong cả dải nồng độ thấp (ppm) và dải nồng độ cao (% thể tích). Ưu điểm của cảm biến nguyên lý hấp thụ hồng ngoại có tính chọn lọc tốt, thời gian đáp ứng nhanh, tuổi thọ cao đến 10 năm và hoạt động tin cậy [8]. Cảm biến khí nguyên lý hấp thụ hồng ngoại hoạt động dựa trên tính chất hấp thụ vùng bức xạ hồng ngoại với bước sóng đặc trưng của từng loại khí (với khí CO₂ là tại vùng 4,26 μm) [8, 9]. Vì vậy, hiện tại cảm biến nguyên lý hấp thụ hồng ngoại là phù hợp xây dựng mô hình hệ thống tự động đo và điều

hòa nồng độ khí CO₂ (vùng nồng độ 0 ÷ 10.000 ppm). Tại Việt Nam, việc nghiên cứu chế tạo cảm biến về khí CO₂ là khá khiêm tốn, ví dụ có thể kể đến một loại cảm biến theo cấu hình hấp thụ hồng ngoại đã được chế tạo tại Viện Khoa học vật liệu cho đo khí CO₂ dải nồng độ lớn 0 ÷ 20 % thể tích và áp dụng cho phân tích khí thải [10]. Ngoài ra, cảm biến CO₂ hoạt động theo nguyên lý thay đổi điện trở của vật liệu dây nano ZnO phủ LaOCl đã được thực hiện bởi nhóm tác giả Hieu và các cộng sự [11].

Bài báo này trình bày về chế tạo cảm biến khí CO₂ theo nguyên lý hấp thụ hồng ngoại cho dải nồng độ đo thấp 0 ÷ 10.000 ppm để phù hợp cho xây dựng giải pháp giám sát nồng độ khí CO₂ và điều hòa không khí trong nhà cho giảm ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người. Điểm đặc sắc ở đây là cảm biến được thiết kế và chế tạo với cấu hình không tán sắc (non-dispersive infrared, NDIR) với hai kênh thu hồng ngoại và không cần bơm hút mẫu khí vào buồng đo.

2. THỰC NGHIỆM

Khí CO₂ hấp thụ phổ hồng ngoại đặc trưng tại vùng bước sóng lân cận 4,26 μm và không trùng phủ với các khí thông thường khác trong môi trường không khí. Cường độ ánh sáng (hồng ngoại) từ nguồn là I_0 sau khi đi qua môi trường chứa phân tử khí sẽ bị hấp thụ một phần và phần không bị hấp thụ là I . Sự suy giảm cường độ của I so I_0 được tuân theo định luật Lambert-Beer theo công thức:

$$I = I_0 e^{-k.l.x} \quad (1)$$

ở đó, k là hằng số đặc trưng hấp thụ hồng ngoại của riêng khí CO₂, và l là chiều dài buồng mẫu khí (hay chính là quang trình mà bức xạ hồng ngoại đi qua môi trường có chứa khí CO₂), và x là nồng độ khí CO₂ trong buồng mẫu. Từ nguyên lý này, cấu trúc cơ bản của cảm biến khí dựa trên nguyên lý hấp thụ hồng ngoại thường được thiết kế theo cấu hình không tán sắc hai kênh thu [9]. Ở đó, cảm biến gồm một nguồn phát bức xạ hồng ngoại, một buồng chứa mẫu khí cần phân tích, và hai kênh thu hồng ngoại để chuyển đổi bức xạ hồng ngoại từ nguồn phát đi qua buồng mẫu khí đến đầu thu để được biến đổi thành tín hiệu điện lối ra, như thiết kế nguyên lý trên hình 1a. Hai kính lọc bức xạ hồng ngoại được đặt trước ở hai kênh của đầu thu, một kính lọc chỉ cho vùng bước sóng bức xạ hồng ngoại tại bước sóng 4,26 μm (vùng khí CO₂ hấp thụ cho kênh nhạy khí) và một tại bước sóng 3,9 μm (không bị khí nào hấp thụ cho kênh so sánh). Kỹ thuật sử dụng kính lọc quang được gọi là không tán sắc (non-dispersive infrared sensor – cảm biến NDIR). Khi hoạt động, các điện thế lối ra của kênh nhạy khí là U_{sen} và điện thế lối ra của kênh so sánh là U_{ref} . Nồng độ khí CO₂ (x) được xác định gần đúng qua các giá trị điện áp U_{sen}^x và U_{ref}^x tương ứng của hai kênh theo công thức [9]:

$$x = -\frac{1}{b} \ln \left(\frac{U_{sen}^x}{U_{ref}^x \times \frac{U_{sen}^0}{U_{ref}^0}} \right) \quad (2)$$

với b là một hằng số, U_{sen}^0 và U_{ref}^0 là giá trị điện thế của hai kênh được tính cho trường hợp buồng mẫu không có khí CO₂ ($x = 0$).

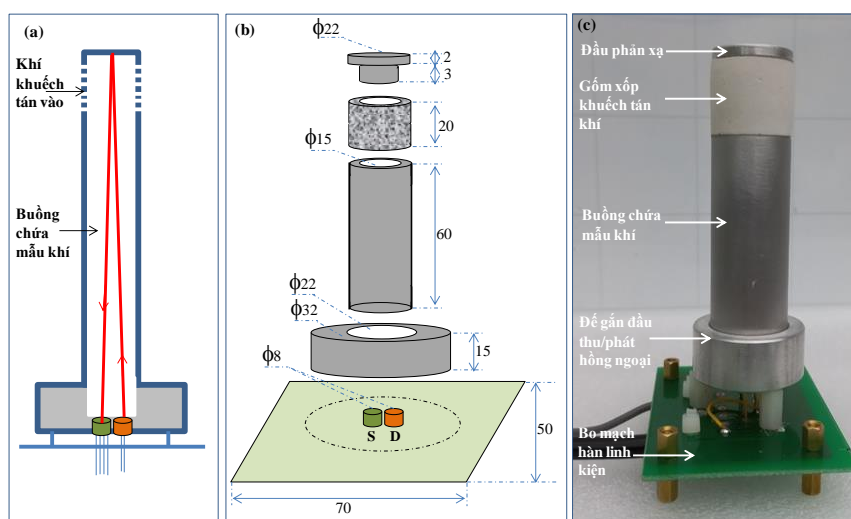
Thực tế, cảm biến NDIR có thể được chế tạo theo nhiều cấu hình khác nhau tùy vào dải nồng độ đo, độ phân giải và lĩnh vực ứng dụng. Trong công trình này, chúng tôi đã chế tạo cảm biến NDIR đã được chế tạo theo cấu trúc minh họa trên hình 1 cho dải nồng độ đo 0 ÷ 10.000 ppm và cảm biến không cần bơm mẫu khí vào buồng đo. Trong cấu trúc này, đèn phát hồng ngoại dải rộng được sử dụng từ hãng Heimann, Đức (mã ký hiệu linh kiện: HSL-EMIRS 200-60/55) và đầu thu hồng ngoại hai kênh của hãng Pyreos, Anh (mã ký hiệu linh kiện: PY-ITV-DUAL-

TO39). Các linh kiện thu/phát hồng ngoại được sử dụng này đều phù hợp cho chế tạo cảm biến khí nguyên lý hấp thụ hồng ngoại. Bảng 1 thể hiện thông số kỹ thuật của các linh kiện phát hồng ngoại và thu hồng ngoại đã sử dụng trong chế tạo cảm biến NDIR.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật của các linh kiện thu/phát hồng ngoại đã sử dụng.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
HSL-EMIRS 200-60/55		
Điện trở đốt nóng	72	Ω
Công suất đầu vào	450	mW
Thế hoạt động	5,7÷6,3	V
Dòng hoạt động	80-100	mA
Đỉnh phát xạ	4,0	μm
Vùng bức xạ	2÷15	μm
Thời gian sống	>40000	giờ
PY-ITV-DUAL-TO39		
Số kênh	2	
Kính lọc hồng ngoại	3,91 và 4,26	μm
Kích thước	1000 × 1000	μm^2
Độ đáp ứng	150000	V/W
Nhiệt độ hoạt động	- 40 ÷ 85	$^{\circ}\text{C}$
Nhiệt độ hoạt động	- 40 ÷ 120	$^{\circ}\text{C}$

Để có được dải nồng độ khí 0 ÷ 10.000 ppm và có độ phân giải phù hợp, chiều dài buồng mẫu khí của cảm biến NDIR đã được thử nghiệm ở độ lớn khác nhau và đi đến lựa chọn buồng mẫu khí hình trụ rỗng (làm từ hợp kim nhôm) của cảm biến đã được chế tạo có hình trụ rỗng, đường kính trong 15 mm, đường kính ngoài 22 mm và chiều dài là 60 mm, như thể hiện trên hình 1b. Cảm biến có sử dụng một ống gốm xốp hình trụ rỗng có chiều dài 20 mm, bộ phận này giúp khí từ môi trường tự động khuếch tán vào buồng mẫu của cảm biến mà không cần sử dụng bơm. Đầu phát hồng ngoại (S) và đầu thu hồng ngoại (D) được đặt cùng một phía và các chân linh kiện được gắn trên một bo mạch PCB. Các bộ phận cấu thành của cảm biến được liên kết bằng keo để tạo ra một cấu trúc hoàn chỉnh (hình 1c). Khi hoạt động bức xạ hồng ngoại từ nguồn phát sẽ đi qua buồng mẫu khí đến đầu phân xạ phía trên và quay ngược trở lại đầu thu (như vậy quang trình của cảm biến đã tăng lên 2 lần giúp tăng độ nhạy).



Hình 1. Nguyên lý cấu tạo (a), kích thước các bộ phận (b) và cảm biến NDIR đã chế tạo (c).

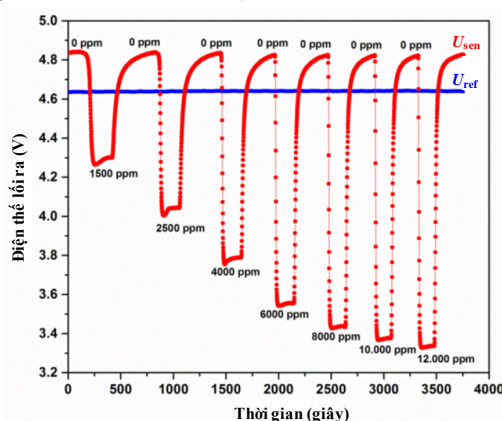
Cảm biến NDIR được nghiên cứu và khảo sát các đặc trưng khi sử dụng một bo mạch điện tử (được chế tạo bởi Viện Khoa học vật liệu [10]) cho điều khiển linh kiện phát hồng ngoại bằng việc cấp nguồn dòng (dạng xung vuông, tần số 4 Hz và biên độ 100 mA) và thu nhận các tín hiệu điện áp U_{sen} và U_{ref} lỗi ra tương ứng từ hai kênh thu hồng ngoại biến đổi theo các nồng độ khí CO₂ chuẩn. Cảm biến NDIR được tính toán chuẩn hóa theo các nồng độ khí CO₂ chuẩn được tạo từ hệ thiết bị tạo khí chuẩn tại Phòng Cảm biến và thiết bị đo khí của Viện Khoa học vật liệu. Các nồng độ khí CO₂ chuẩn được dùng cho nghiên cứu lần lượt là 1500, 2500, 4000, 6000, 8000, 10000 và 12000 ppm trong môi trường khí mang giống như không khí thông thường (với 21% O₂ và 79 % N₂). Nguyên tắc của hệ tạo ra các nồng độ khí CO₂ chuẩn này là trộn các lưu lượng khí gồm CO₂, N₂ và O₂ theo các tỉ lệ được điều khiển chính xác qua các bộ điều khiển lưu lượng MFC – Aalborg, Mỹ [10, 12]. Hỗn hợp các khí này đưa liên tục vào buồng đo khí (chứa cảm biến NDIR) với lưu lượng tổng được giữ 500 ml/phút, thể tích của buồng đo là 1000 ml. Để tìm hằng số b cho tính nồng độ khí CO₂ theo công thức (2), bộ số liệu điện thế lỗi ra thu được trên kênh nhạy khí tương ứng với các nồng độ khí CO₂ chuẩn khảo sát được dùng để tính khớp hàm qua phần mềm Origin, hàm toán học được dùng như sau [9]:

$$FA = \frac{U_{sen}^o - U_{sen}^x}{U_{sen}^o} = 1 - e^{-b \cdot x} \quad (3)$$

với FA là hệ số hấp thụ, U_{sen}^o và U_{sen}^x là các điện áp trên kênh nhạy khí ở các điều kiện tương ứng nồng độ khí CO₂ ở 0 và các giá trị nồng độ x khác nhau.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

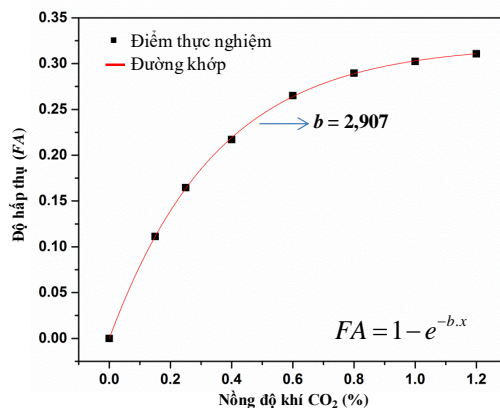
Hình 2 là điện thế lỗi ra của kênh nhạy khí U_{sen} và kênh so sánh U_{ref} đáp ứng theo các nồng độ CO₂ chuẩn đưa vào buồng mẫu với các giá trị là 1500, 2500, 4000, 6000, 8000, 10000 và 12000 ppm. Kết quả cho thấy điện thế của kênh nhạy khí U_{sen} sụt giảm tương ứng với các nồng độ CO₂ đưa vào và hồi phục về giá trị ban đầu khi khất khí CO₂ về giá trị nồng độ 0 ppm. Trong khi đó, điện thế của kênh so sánh hầu như không thay đổi theo sự biến thiên nồng độ CO₂ trong buồng mẫu (điện thế so sánh đóng vai trò bù trừ nhiễu).



Hình 2. Điện thế kênh nhạy khí (U_{sen}) và kênh so sánh (U_{ref}) đáp ứng với các nồng độ khí CO₂ chuẩn.

Từ số liệu này, hình 3 thể hiện các điểm thực nghiệm, đường khớp hàm về độ hấp thụ FA theo nồng độ CO₂ và giá trị tính toán cho hằng số $b = 2,907$ của cảm biến NDIR đã chế tạo. Các số liệu thực nghiệm và nồng độ khí CO₂, giá trị điện thế trên hai kênh là U_{sen} và U_{ref} , và giá trị tính toán hằng số b được liệt kê trong bảng 2. Kết quả này cho thấy đường tính toán trùng khớp rất tốt với các điểm thực nghiệm, chứng tỏ nồng độ khí CO₂ chuẩn sử dụng và các phép tính toán là tin cậy. Các số liệu thực nghiệm tương ứng tại các nồng độ khí CO₂ cho các giá trị điện thế

trên hai kênh là U_{sen} và U_{ref} . Từ các số liệu thực nghiệm này, các thông số kỹ thuật của cảm biến được tính toán và liệt kê ở bảng 3. Ngoài ra, cảm biến sau khi đã chuẩn hóa được đo đối chứng với thiết bị đo khí thương mại (Thiết bị đo khí đa chỉ tiêu, E9000, Mỹ) cho thấy phù hợp tốt với giá trị nồng độ CO_2 chuẩn đưa vào buồng đo.



Hình 3. Độ hấp thụ (FA) phụ thuộc vào các nồng độ khí CO_2 và khớp hàm tính giá trị b .

Bảng 2. Các giá trị đã đo U_{sen} , U_{ref} và tính toán b tương ứng theo nồng độ khí CO_2 đã khảo sát.

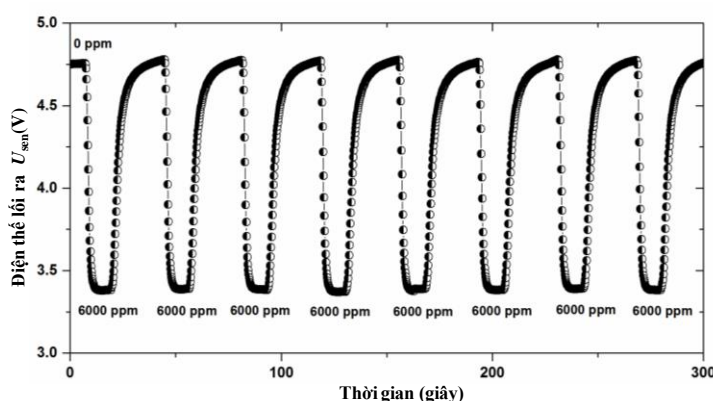
x_{CO_2} (ppm)	U_{sen} (V)	U_{ref} (V)	b
0	4,8398	4,6394	2,907
1500	4,3015		
2500	4,0433		
4000	3,7888		
6000	3,5571		
8000	3,4382		
10000	3,3759		
12000	3,3361		

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của cảm biến NDIR đã chế tạo.

Thông số kỹ thuật	Giá trị
Cấu hình	Không tán sắc NDIR
Dải nồng độ CO_2	0÷10.000 ppm
Độ phân giải	2 ppm
Giới hạn phát hiện LoD	0,5 ppm
Độ lệch chuẩn	10 ppm ^(*)
Công suất	450 mW
^(*) tính cho 8 chu kỳ tại nồng độ 6000 ppm	

Hình 4 là đáp ứng điện thế của kênh nhạy khí U_{sen} theo các chu kỳ khí CO_2 khi biến đổi từ 0 và 6000 ppm. Kết quả này thể hiện cho tính lặp lại và độ ổn định cao của cảm biến đã chế tạo. Giá trị độ lệch chuẩn của cảm biến NDIR chế tạo đã được tính toán trong điều kiện 8 chu kỳ nồng độ khí CO_2 tại 6000 ppm và cho giá trị là 10 ppm. Giới hạn phát hiện (LoD) tính toán cho cảm biến NDIR nhận giá trị là 0,5 ppm khi tính theo hệ số hấp thụ FA phụ thuộc vào nồng độ khí CO_2 theo số liệu từ hình 3. Với các thông số kỹ thuật đạt được, cảm biến NDIR đã chế tạo phù hợp để áp dụng cho giám sát và điều hòa khí CO_2 ở môi trường không khí trong nhà [3, 6]. Để so sánh thêm, chúng ta có thể dẫn chứng cảm biến đo nồng độ khí CO_2 thường được dựa trên ba loại, đó là cảm biến nguyên lý dẫn nhiệt, cảm biến nguyên lý điện hóa và cảm biến nguyên lý hấp thụ hồng ngoại

[8, 13]. Cảm biến nguyên lý dẫn nhiệt đo khí CO₂ là dựa trên độ dẫn nhiệt của khí CO₂ (0,017 W/mK) thấp hơn so các khí thông thường khác trong không khí (ví dụ N₂ là 0,026 W/mK và của O₂ là 0,027 W/mK) [11]. Tuy nhiên, cảm biến nguyên lý dẫn nhiệt chỉ phù hợp đo khí CO₂ ở dải nồng độ lớn (0 ÷ 100 % thể tích). Cảm biến nguyên lý điện hóa đo khí CO₂ dựa trên các phản ứng hóa học tại điện cực của linh kiện kiểu pin Galvanic để tạo ra tín hiệu điện lối ra (dòng điện hoặc điện thế tại các điện cực). Cảm biến nguyên lý điện hóa phù hợp đo dải nồng độ thấp (mức ppm) khí CO₂ trong môi trường không khí. Tuy vậy, cảm biến điện hóa có nhược điểm là tín hiệu lối ra của linh kiện không ổn định theo thời gian hoạt động, do đó, nó thường phải chỉnh chuẩn, hiệu chỉnh định kỳ sau khoảng một khoảng thời gian cỡ vài tháng [14]. Điểm này làm hạn chế khả năng áp dụng của cảm biến điện hóa trong các hệ thống giám sát khí cần có khả năng hoạt động ổn định liên tục theo thời gian dài. Trong khi đó, cảm biến khí nguyên lý hấp thụ hồng ngoại được cho phù hợp áp dụng hoạt động liên tục trong hệ thống giám sát [8, 9].



Hình 4. Đường đáp ứng điện thế lối ra của kênh nhạy khí U_{sen} theo 8 chu kỳ 6000 ppm khí CO₂.

4. KẾT LUẬN

Cảm biến khí CO₂ nguyên lý hấp thụ hồng ngoại với cấu hình không tán sắc hai kênh thu (NDIR) đã được chế tạo cho dải nồng độ 0 ÷ 10.000 ppm. Cảm biến thể hiện độ nhạy cao với độ phân giải có thể đạt 2 ppm, giới hạn phát hiện (LoD) đạt 0,5 ppm và độ lệch chuẩn đạt 10 ppm. Cảm biến đã chế có thể phù hợp đo liên tục nồng độ CO₂ trong môi trường không khí và không cần bơm hút mẫu khí. Do đó, cảm biến đáp ứng được cho áp dụng xây dựng hệ đo và giám nồng độ khí CO₂ từ đó đưa ra tác động điều hòa không khí trong nhà nhằm giảm ảnh hưởng tới sức khỏe của con người sống và làm việc trong môi trường này.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin được cảm ơn sự tư vấn và hỗ trợ khoa học của GS. Vũ Đình Lãm, Học Viện Khoa học và Công nghệ; và quá trình thực nghiệm tại Phòng Cảm biến và thiết bị đo khí, Viện Khoa học vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://www.vinmec.com/vi/tin-tuc/thong-tin-suc-khoe/o-nhiem-khong-khi-anh-huong-den-suc-khoe-con-nguoi-nao/>
- [2]. W.M. Alberts, "Indoor air pollution: NO, NO₂, CO, and CO₂", The Journal of Allergy and Clinical Immunology, 94 (1994) 289-295.
- [3]. Kenichi Azuma, Naoki Kagi, U. Yanagi, Haruki Osawa, "Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance", Environment International, 121 (2018) 51-56.
- [4]. <https://baotainguyenmoitruong.vn/canh-bao-nong-do-co2-trong-nha-co-the-la-moi-nguy-hai-cho-suc-khoe-289251.html>.
- [5]. U. Satish, M. J. Mendell, K. Shekhar, T. Hotchi, D. Sullivan, S. Streufert, W. J. Fisk, "Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making

- performance", Environmental Health Perspectives, 120 (2012) 1671-1677.
- [6]. H. Maula, V. Hongisto, V. Naatula, "The effect of low ventilation rate with elevated bioeffluent concentration on work performance, perceived indoor air quality, and health symptoms", Indoor Air 27 (2017) 1141-1153.
- [7]. S. Petersen, K.L. Jensen, A.L. Pedersen, H.S. Rasmussen, "The effect of increased classroom ventilation rate indicated by reduced CO₂ concentration on the performance of schoolwork by children", Indoor Air 26 (2016) 366-379.
- [8]. Jane Hodgkinson, Ralph P Tatam, "Optical gas sensing: a review", Measurement Science and Technology, 24 (2013) 012004.
- [9]. Robert Lee, Walt Kester, "Complete Gas Sensor Circuit Using Nondispersive Infrared (NDIR)", Analog Dialogue 50-10, (2016)
- [10]. Báo cáo đề tài "Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo các cảm biến để xây dựng hệ thống thiết bị đo nồng độ khí thải và điều khiển quá trình đốt cháy nhiên liệu", mã số KC05.13/16-20, (2021)
- [11]. Nguyen Van Hieu, Nguyen Duc Khoang, Do Dang Trung, Le Duc Toan, Nguyen Van Duy, Nguyen Duc Hoa, "Comparative study on CO₂ and CO sensing performance of LaOCl-coated ZnO nanowires", J Hazardous Materials 244-245, 209-216 (2013).
- [12]. P. Romppainen, V. Lantto, "Design and construction of an experimental setup for semiconductor gas sensor studies", Report S: Department of Electrical Engineering, University of Oulu, Oulu, Finland, 93 (1987)
- [13]. <https://labincubators.net/blogs/blog/thermal-conductivity-versus-infrared-co2-sensors>.
- [14]. Igor Cretescu, Doina Lutic, Liliana Rosemarie Manea, "Electrochemical sensors for monitoring of Indoor and outdoor air pollution", <http://dxdoi.org/105772/intechopen68512>, (2017).

ABSTRACT

Fabrication of non-dispersive infrared sensor (NDIR) for detecting CO₂ in indoor with low-level concentration towards human health safety applications

Carbon dioxide (CO₂) is known as a gas of global climate change and global warming as well as impacts on human health. Recently, scientific literature and documents have been shown that exposure at the CO₂ low-level concentration (~5000 ppm) for a long-time can affect human health and psychomotor performance. It is more serious in modern life when humans are usually in indoor environments with low ventilation rates such as school-rooms, office-rooms, buildings, etc. In indoor environments, the low-level CO₂ concentrations can be easy to obtain due to release from the processes like human metabolism, cooking, and fuel combustion. On the other hand, it is more dangerous because carbon dioxide is a colorless, odorless, and tasteless gas that is undetectable to the human senses and causes long-term and silent effects on human health. It can be related to respiratory, cardiovascular, kidney, bone, neurological, cognitive, and autism diseases, particularly in children and people with weak-physical conditions. In this work, the infrared absorption gas sensor was fabricated for detecting CO₂ in the range of low-level concentration (0 ÷ 10.000 ppm), towards applications in monitoring and conditioning CO₂ concentration in indoor environments. The configuration of the sensor is a non-dispersive infrared (NDIR) structure with two infrared detectors. A porous ceramic tube was used to gas self-diffusion from the environment into the gas-sampling chamber of the sensor. The NDIR sensor showed good performance with a resolution of 2 ppm, limitation of detection (LoD) of 0.5 ppm, and standard deviation of 10 ppm.

Keywords: NDIR gas sensor; CO₂ effect on human health; CO₂ low-level indoor impact.