

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

---



**Phan Văn Khấn**

**NGHIÊN CỨU CẢM BIẾN QUANG FBG VÀ ỨNG DỤNG CHO IoT**

**Chuyên ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**

**Mã số: 8.52.02.08**

**TÓM TẮT ĐỀ ÁN THẠC SĨ**

**HÀ NỘI - 2024**

Đề tài được hoàn thành tại:  
**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

Người hướng dẫn khoa học: TS. Cao Hồng Sơn

Phản biện 1: TS. Nguyễn Chiến Trinh

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Thúy Anh

Đề tài đã được bảo vệ trước Hội đồng chấm Đề tài thạc sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính  
Viễn thông

Vào lúc: 08 giờ 00 ngày 26 tháng 4 năm 2024

Có thể tìm hiểu Đề tài tại:

- Thư viện của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

## **LỜI MỞ ĐẦU**

Sự ra đời của công nghệ sợi quang đã đánh dấu một bước tiến quan trọng trong công nghệ truyền thông toàn cầu, giúp truyền thông ở cự ly xa và đảm bảo độ tin cậy. Trong những năm gần đây, công nghệ sợi quang tiếp tục phát triển mạnh mẽ với việc xác định các sợi quang nhạy sáng, làm cơ sở để phát triển cảm biến quang cho nhiều loại ứng dụng và môi trường khác nhau với hiệu suất cao. Cảm biến quang dựa trên cách tử Bragg sợi quang (FBG) là một trong những loại cảm biến sợi quang thu hút được rất nhiều sự quan tâm và đang được nghiên cứu và phát triển.

IoT đang dần trở nên phổ biến và càng ngày càng tác động mạnh mẽ đến cuộc sống, công việc và xã hội loài người. Một trong các thành phần không thể thiếu của hệ thống IoT như vậy là các thiết bị cảm biến. Tuy nhiên do môi trường sử dụng cảm biến rất đa dạng phong phú, nên hiện nay các loại cảm biến chưa đáp ứng được hết các yêu cầu, ví dụ như cảm biến sử dụng trong môi trường có điện trường cao.

Ưu điểm chính của cảm biến sợi quang so với các loại cảm biến khác là cảm biến sợi quang thụ động về mặt điện từ. Đặc tính này cho phép sử dụng các cảm biến sợi quang trong môi trường điện trường cao và biến thiên hoặc nơi có nguy cơ cháy nổ, nơi mà các loại cảm biến khác không thể sử dụng được. Vì vậy nghiên cứu cảm biến sợi quang và ứng dụng trong IoT đang là vấn đề rất được quan tâm hiện nay.

Trên thế giới đã có nhiều đề tài nghiên cứu, thiết kế cảm biến quang FBG cũng như ứng dụng trong IoT, tuy nhiên trong nước còn rất hạn chế. Nhiệm vụ nghiên cứu của đề án là tập trung nghiên cứu, tìm hiểu về cảm biến quang FBG, khảo sát các tham số đặc trưng và đề xuất một mô hình cảm biến quang dựa trên FBG để giám sát tham số nhiệt độ cho các ứng dụng trong IoT. Từ đó xây dựng một mô hình cảm biến quang FBG với mục đích nâng cao hiệu quả hoạt động của cảm biến quang trong thực tế và đưa ra hướng ứng dụng của cảm biến quang FBG trong các hệ thống IoT.

Đề tài được thực hiện thông qua 3 chương :

Chương 1 : Cảm biến sợi quang trong IoT.

Chương 2 : Cảm biến quang FBG.

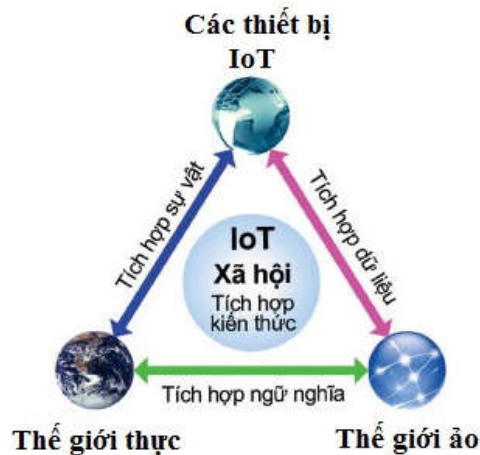
Chương 3 : Ứng dụng cảm biến quang FBG cho IoT.

## CHƯƠNG 1 - CẢM BIẾN SỢI QUANG TRONG IoT

### 1.1. Sự phát triển của IoT

#### 1.1.1. Khái niệm IoT

IoT là một thuật ngữ phổ biến trong kỷ nguyên số ngày nay – là bước nhảy vọt cũng như một khía cạnh quan trọng về trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư.



Hình 1.1 Mô tả tương tác của mạng thiết bị kết nối Internet.

#### 1.1.2. Lịch sử phát triển IoT

Lịch sử phát triển của IoT có thể được nêu ra thông qua các mốc quan trọng [11]:

- + 1968: Kỷ nguyên Internet vạn vật (IoT) trong sản xuất bắt đầu được xây dựng.
- + Năm 1990: Máy nướng bánh mì được cho là đồ vật đầu tiên được kết nối internet.
- + 1999: Đây là cột mốc quan trọng trong quá trình phát triển IoT, là lần đầu tiên khái niệm IoT được sử dụng.
- + 2000: LG giới thiệu chiếc tủ lạnh có kết nối Internet đầu tiên trên thế giới với mức giá 20.000 USD.
- + 2008: Hội nghị quốc tế đầu tiên về IoT được tổ chức tại Zurich, Thụy Sĩ.
- + 2009: Theo Cisco, đây là thời điểm mà mạng internet vạn vật thực sự được khai sinh, khi số lượng thiết bị được kết nối internet vượt dân số thế giới.

+ 2013: Từ điển Oxford thêm thuật ngữ “Internet of Things” vào hệ thống định nghĩa.

+ 2016: Xuất hiện khái niệm IoT trong sản xuất.

### 1.1.3. Các thành phần chính trong hệ thống IoT

Một hệ thống IoT sẽ bao gồm 4 thành phần chính:

+ Thiết bị: gồm các thiết bị cuối tham gia vào mạng.

+ Trạm kết nối hay cổng kết nối.

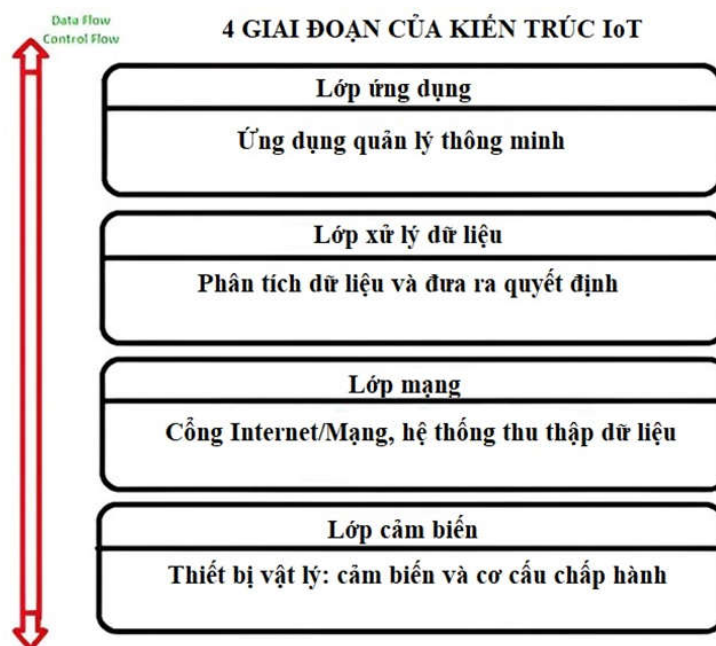
+ Hạ tầng mạng hay các điện toán đám mây.

+ Bộ phân tích và xử lý dữ liệu. Nguyên lý hoạt động của hệ thống IoT được thực hiện thông qua bốn bước như mô tả trong Hình 1.2.



Hình 1.2 Nguyên lý cơ bản của IoT

### 1.1.4. Kiến trúc của hệ thống IoT



Hình 1.3 Kiến trúc hệ thống IoT

### 1.1.5. Xu hướng phát triển IoT

IoT sẽ là một lĩnh vực được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ trong giai đoạn tiếp theo. Một số xu hướng phát triển của IoT gồm:

- Kiến trúc dựa trên sự kiện.
- Là một hệ thống phức tạp.
- Kích thước không ngừng mở rộng.
- Vấn đề không gian, thời gian được chú trọng.
- Vấn đề bảo mật và an ninh được tăng cường mạnh mẽ.
- Tăng cường kết hợp Trí tuệ nhân tạo AI.

### 1.2. Vai trò của cảm biến sợi quang trong IoT

Sự phát triển của công nghệ sợi quang đánh dấu một bước tiến quan trọng trong công nghệ truyền thông toàn cầu. Vào những năm 70, sự xuất hiện của sợi quang có suy hao thấp cho phép truyền thông cự li dài với băng thông cao. Kể từ những tiến bộ này, khối lượng sản xuất tiếp tục tăng và đến năm 2000, cáp quang đã nhanh chóng được lắp đặt trên toàn thế giới.

### 1.3. Ứng dụng của cảm biến sợi quang trong IoT

OFSN cung cấp các giải pháp cảm biến cho hầu hết các loại ứng dụng và trong môi trường dễ cháy, phóng xạ hoặc ăn mòn hóa học, nhờ vào các đặc tính bên trong của sợi quang. Một số ứng dụng tiêu biểu gồm: Cảm biến trong môi trường điện trường và từ trường, định vị các nguồn nhiệt, quản lý pin, giám sát tình trạng cấu trúc của phương tiện trên không, chăm sóc sức khỏe.

#### **Kết luận chương**

Nội dung của chương 1 đã trình bày khái quát về IoT và cảm biến sợi quang. So với các công nghệ cảm biến khác, cảm biến sợi quang có một số lợi thế cho nhiều ứng dụng có tiềm năng sâu rộng trong các ứng dụng cảm biến. Một số ưu điểm của sợi quang liên quan đến cảm biến bao gồm kích thước nhỏ, tuổi thọ dài, không cần nguồn điện ở vị trí từ xa và nhiều cảm biến có thể được ghép dọc theo chiều dài của sợi. Ngoài ra, cảm biến sợi quang không bị nhiễu điện từ và không dẫn điện nên chúng có thể được sử dụng trong môi trường nguy hiểm, nơi có thể có

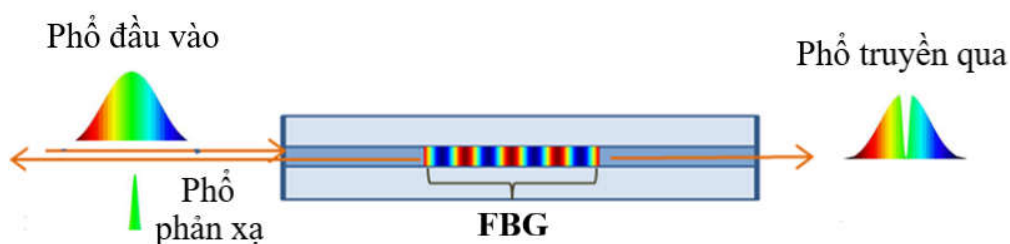
điện áp cao hoặc vật liệu dễ cháy như nhiên liệu máy bay phản lực. Cảm biến sợi quang cũng có thể được thiết kế để chịu được nhiệt độ cao. Vì những lý do này, môi trường ứng dụng bao gồm từ các tình huống nguy hiểm trong đó có các mối nguy hiểm về phóng xạ, hóa học và các mối nguy hiểm khác trong công nghiệp cho đến các mục đích sử dụng phổ biến và đơn giản hơn. Đây chính là tiền đề để xây dựng các hệ thống cảm biến sợi quang trong tương lai.

## CHƯƠNG 2 – CẢM BIẾN QUANG FBG

Trong chương 2 giới thiệu về tính nhạy sáng của sợi quang, cấu trúc và nguyên lý hoạt động của cách tử Bragg sợi quang (FBG) và phương pháp chế tạo FBG. Trên cơ sở đó trình bày cụ thể về cảm biến quang FBG.

### 2.1. Tìm hiểu về FBG

#### 2.1.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của FBG



Hình 2.1 Cấu trúc của cách tử Bragg sợi cùng với phổ truyền qua và phổ phản xạ

#### 2.1.2. Phương pháp chế tạo FBG

Có một số phương pháp chế tạo FBG đã được công bố cho các cách tử tiêu chuẩn và phức tạp trong sợi quang từ năm 1978 (Hill, 2000): Giao thoa kế số lượng lớn (Meltz, Morey & Glenn, 1989), phương pháp mặt nạ pha (Hill và cộng sự, 1993), khắc từng điểm một (Malo và cộng sự, 1993), giao thoa kế gương Lloyd (Limberger và cộng sự, 1993) và giao thoa kế lăng kính (Kashyap và cộng sự, 1990) được biết đến nhiều nhất.

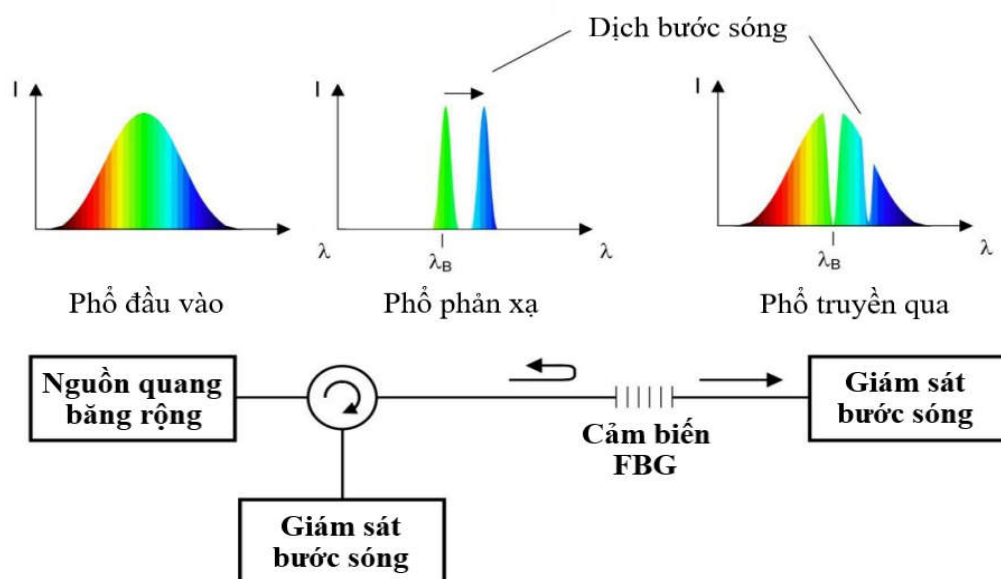
### 2.2. Cảm biến quang FBG

FBG là các phần tử cảm biến nội tại đơn giản, linh hoạt và nhỏ gọn, có tất cả các ưu điểm thường có của cảm biến sợi quang. Do thông tin cần đo được mã hóa theo bước sóng của cấu trúc, là một tham số tuyệt đối, nên cảm biến FBG có thể dễ dàng ghép kênh trong mạng cảm biến đa điểm.

Mô hình cảm biến quang FBG đơn cơ bản như mô tả trên Hình 2.2.

Quá trình chế tạo FBG đã được cải tiến liên tục trong những thập kỷ gần đây để cho phép FBG hoạt động chức năng trong môi trường khắc nghiệt với nhiệt độ rất cao, chẳng hạn như ngành công nghiệp dầu khí, động cơ máy bay, v.v.





Hình 2.2 Mô hình cảm biến quang FBG đơn .

## 2.3. Tham số đặc tính cảm biến quang FBG

### 2.3.1. Độ phản xạ (R)

$$R = \frac{P_E}{P_{in}} \quad (2.1)$$

Trong đó:  $P_E$  là công suất ánh sáng phản xạ ngược,  $P_{in}$  là công suất ánh sáng đầu vào.

### 2.3.2. Độ truyền qua (T)

$$T = \frac{P_F}{P_{in}} \quad (2.2)$$

Trong đó:  $P_F$  là công suất ánh sáng truyền qua,  $P_{in}$  là công suất ánh sáng đầu vào.

### 2.3.3. Độ dịch bước sóng Bragg

$$\left( \frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} \right) \quad (2.3)$$

Nhiệt độ và biến dạng làm thay đổi chu kỳ cách tử cũng như chiết suất cách tử. Do đó, phản ứng của thiết bị cách tử bị thay đổi khi phân bố nhiệt độ và biến dạng thay đổi.

#### \* Hiệu ứng biến dạng quang học của cách tử sợi Bragg

##### a) Phân bố đều

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad (2.4)$$

Trong đó  $\varepsilon_0$  là biến dạng hằng số

b) Phân bố tuyến tính

$$\varepsilon(z) = \varepsilon(0) + \frac{\varepsilon(L) - \varepsilon(0)}{L} \cdot z \quad (2.5)$$

Trong đó  $L$  là độ dài lưới,  $\varepsilon(0)$  là biến dạng tại  $z = 0$ , và  $\varepsilon(L)$  là biến dạng tại  $z = L$

c) Phân bố Gaussian

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (z - L/2)}{w \cdot L} \right]^2 \right\} \quad (2.6)$$

Trong đó  $\varepsilon_0$  là giá trị biến dạng cực đại và  $w$  là giá trị chuẩn hóa của FWHM.

Các phân bố biến dạng khác có thể được xác định bởi các chức năng của người dùng.

**\* Hiệu ứng quang nhiệt của cách tử sợi Bragg**

a) Phân bố đều

$$\Delta T = \Delta T_0 \quad (2.7)$$

Trong đó  $\Delta T_0$  là nhiệt độ không đổi.

b) Phân bố tuyến tính

$$\Delta T(z) = \Delta T(0) + \frac{\Delta T(L) - \Delta T(0)}{L} \cdot z \quad (2.8)$$

Trong đó  $L$  là chiều dài cách tử,  $\Delta T(0)$  là nhiệt độ tại  $z = 0$  và  $\Delta T(L)$  là nhiệt độ tại  $z = L$ .

c) Phân bố Gaussian

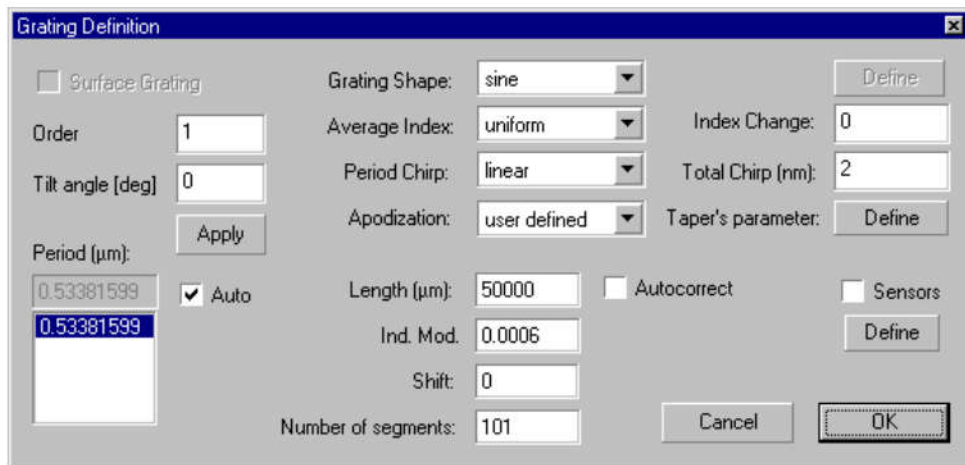
$$\Delta T = \Delta T_0 \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (z - L/2)}{w \cdot L} \right]^2 \right\} \quad (2.9)$$

Trong đó  $\Delta T_0$  là giá trị nhiệt độ cao nhất và  $w$  là giá trị chuẩn hóa của FWHM.

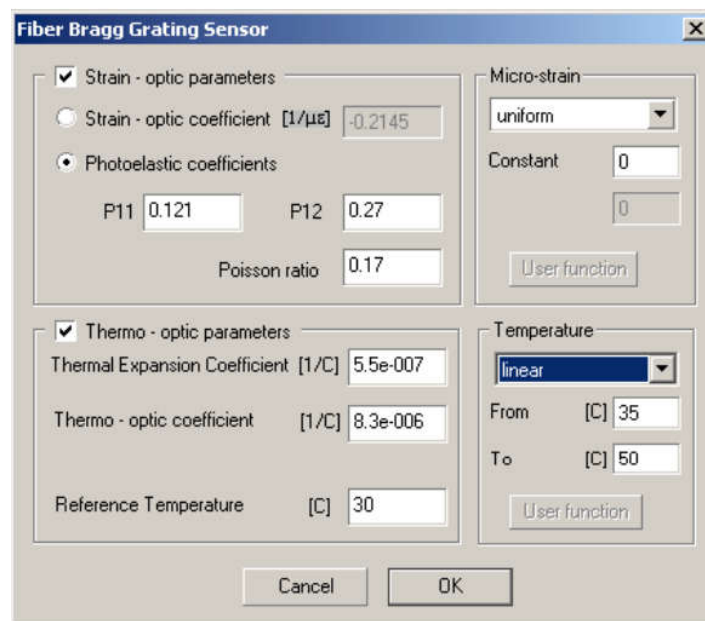
Các phân bố nhiệt độ khác có thể được xác định bởi các chức năng của người dùng.

### 2.3.3. Kết quả khảo sát các tham số đặc tính và thảo luận

Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả khảo sát các đặc tính của FBG đã được nghiên cứu thông qua phần mềm OptiGrating. Các kết quả khảo sát liên quan đến đặc tính của FBG và cảm biến quang FBG có các tham số được chọn như sau (minh họa tương ứng trong Hình 2.3 và Hình 2.4): Chiều dài cách tử 50000 $\mu\text{m}$  và chu kỳ cách tử 0,53381599 $\mu\text{m}$ ; Hệ số Pockel của tensor quang biến dạng  $p_{11} = 0,121$ ;  $p_{12} = 0,27$ ; Tỉ số Poisson  $\mu = 0,17$ ; Hệ số quang nhiệt  $\alpha = 8,3 \cdot 10^{-6}$  (1/C); Hệ số giãn nở nhiệt  $\xi = 5,5 \cdot 10^{-7}$ .

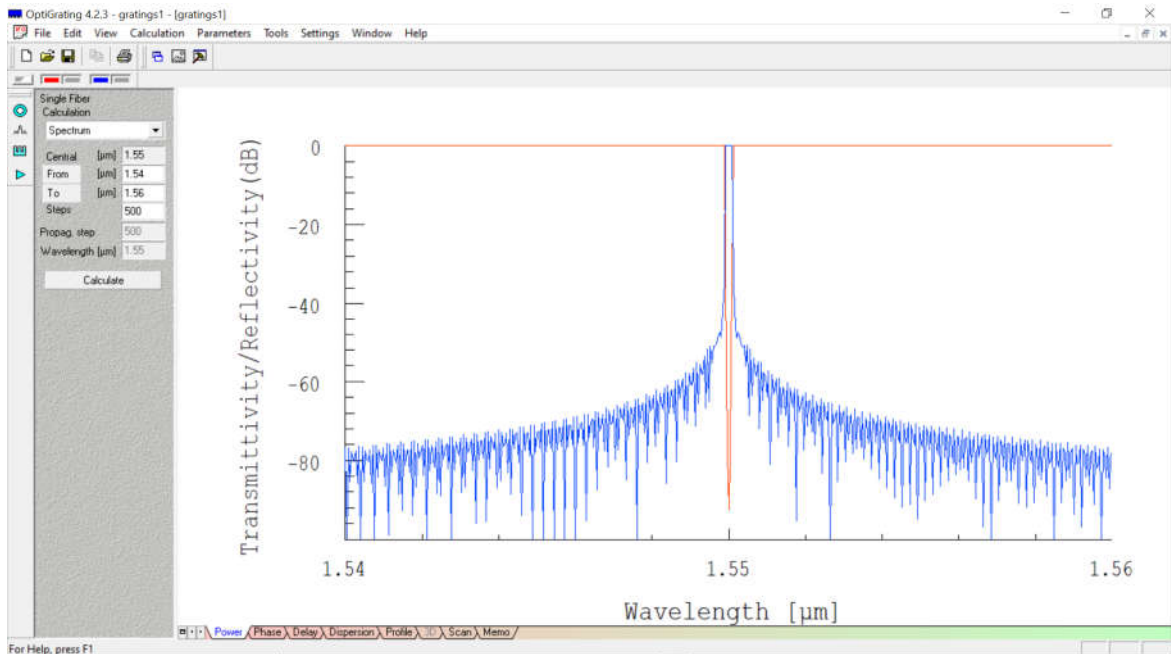


Hình 2.3: Các tham số của FBG



Hình 2.4: Các tham số của cảm biến quang FBG

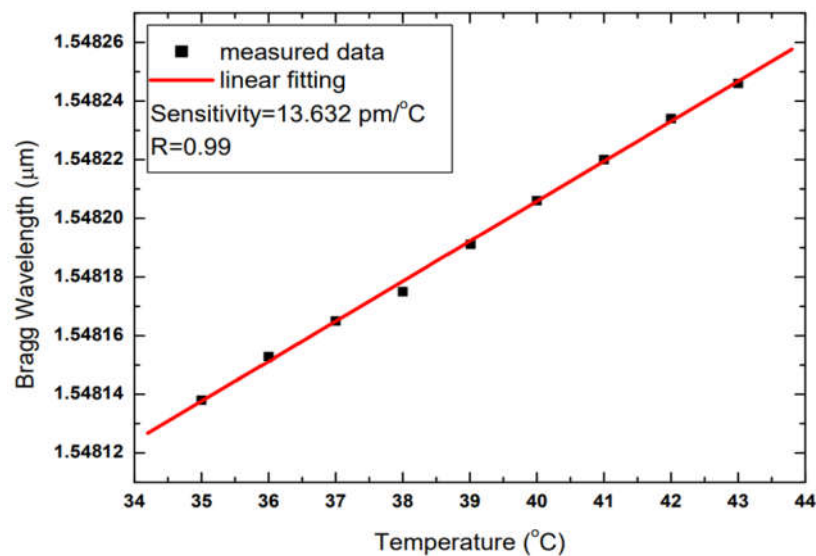
Hình 2.5 là các đặc tính phổ phản xạ và phổ truyền qua của FBG ở bước sóng Bragg 1550 nm.



Hình 2.5. Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.

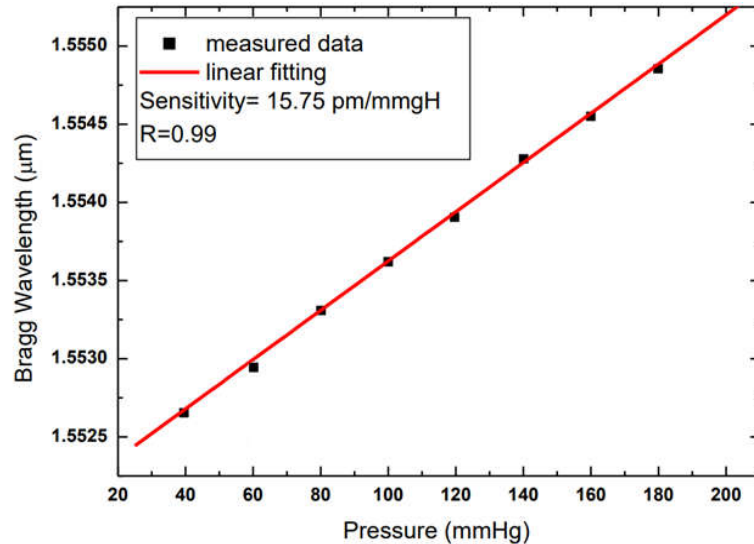
Mối quan hệ tuyến tính giữa nhiệt độ áp dụng và bước sóng Bragg dịch chuyển được minh họa trong Hình 2.6.

Từ Hình 2.6 có thể thấy rõ độ nhạy được tính toán là  $13,632 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ . Như vậy FBG 1 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ, khi nhiệt độ càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



Hình 2.6 Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.

Hình 2.7 mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa áp suất khác nhau và bước sóng Bragg dịch chuyển. Từ Hình 2.7 cho thấy độ nhạy được tính toán là 15,75 pm/mmHg. Như vậy FBG 2 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của áp suất, khi áp suất càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



Hình 2.7. Quan hệ tuyến tính giữa áp suất và bước sóng Bragg dịch chuyển

### Kết luận chương

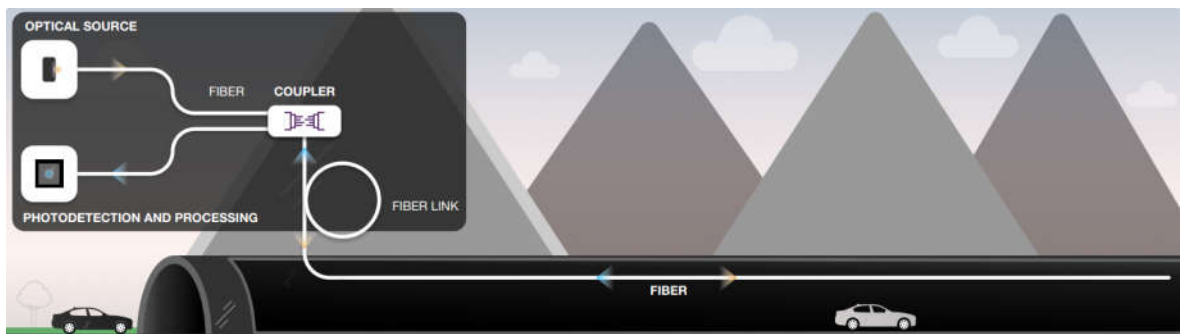
Trong chương này, đã trình bày cụ thể về cấu trúc và nguyên lý hoạt động của cách tử Bragg sợi quang. Ngoài ra còn giới thiệu các phương pháp chế tạo cách tử Bragg sợi quang. Trên cơ sở đó, trong phần cuối của chương đã trình bày cụ thể mô hình và cơ chế hoạt động của cảm biến quang FBG.

## CHƯƠNG 3 - ỨNG DỤNG CẢM BIẾN QUANG FBG CHO IoT

### 3.1. Hệ thống cảm biến quang FBG

#### 3.1.1. Hệ thống phân tán

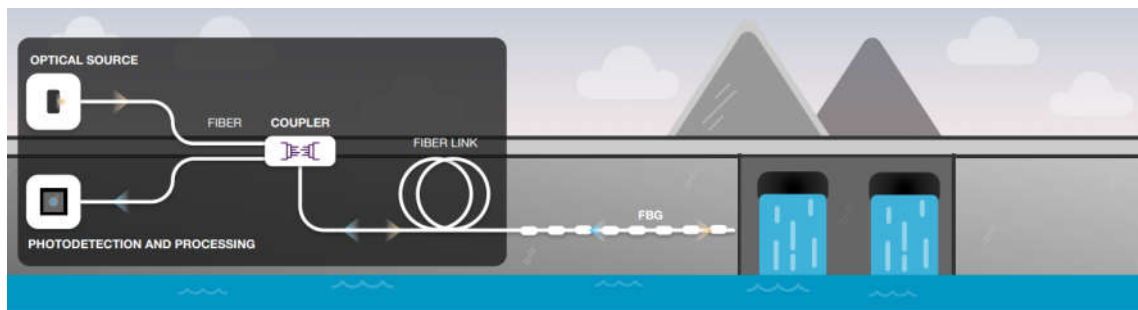
Hình 3.1 minh họa một hệ thống cảm biến phân tán, trong đó phần tử sợi cảm biến liên tục được sử dụng để giám sát các thông số như biến dạng hoặc nhiệt độ trong đường hầm.



Hình 3.1. Hệ thống cảm biến phân tán trong một đường hầm

#### 3.1.2. Hệ thống cảm biến đa điểm

#### 3.2.3. Ứng dụng của hệ thống cảm biến quang FBG



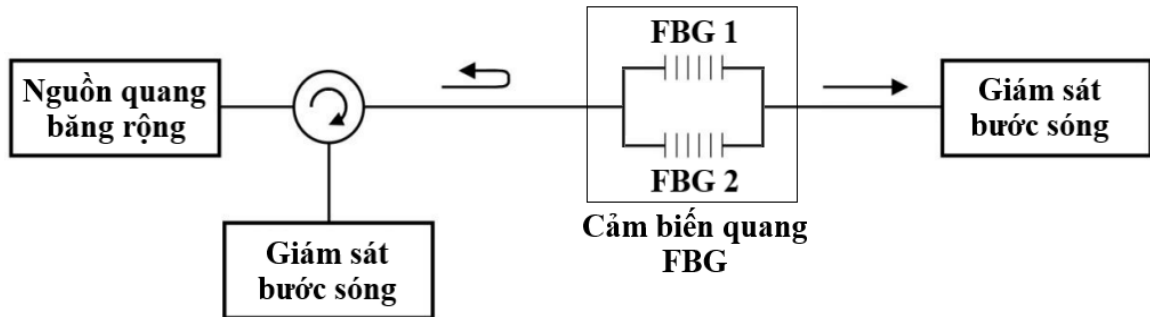
Hình 3.2 Mạng cảm biến quang đa điểm giám sát đập nước



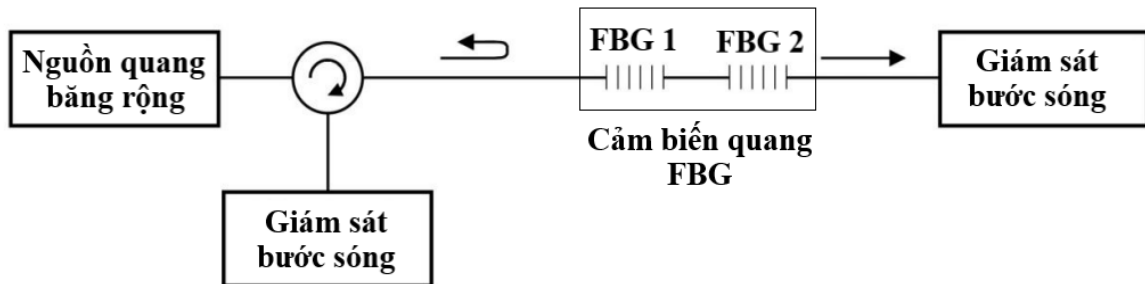
Hình 3.3 Mạng cảm biến đa điểm dựa trên FBG

### 3.2. Mô hình ứng dụng cảm biến quang FBG cho IoT

Hình 3.4 mô tả mô hình cảm biến quang đề xuất.



(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.4 Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất.

Đề tài đề xuất một mô hình cảm biến quang FBG gồm hai FBG có bước sóng Bragg khác nhau lớn hơn 4nm để tránh nhầm lẫn trong các phép đo được thực hiện bởi mỗi tham số ảnh hưởng, trong đó hai cảm biến FBG được kết nối song song với nhau hoặc kết nối liên tiếp nhau. FBG thứ nhất có chức năng để giám sát nhiệt độ và FBG thứ hai sử dụng để giám sát biến dạng (áp suất).

### 3.3 Mô phỏng và đánh giá

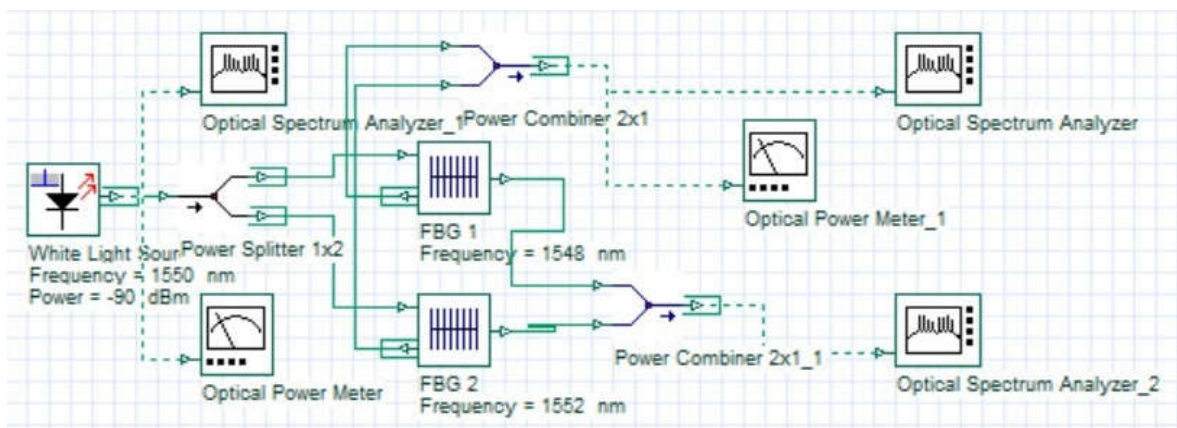
#### 3.3.1. Mô hình mô phỏng

Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất đo giám sát nhiệt độ, áp suất ứng dụng trong IoT được thiết kế và mô phỏng bằng phần mềm OptiSystem chuyên dụng. Mô hình mô phỏng được hiển thị trong Hình 3.5 là cho ứng dụng đo giám sát tại chỗ nhiệt độ, áp suất và Hình 3.6 là cho các ứng dụng đo giám sát từ xa nhiệt độ trong trường hợp kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

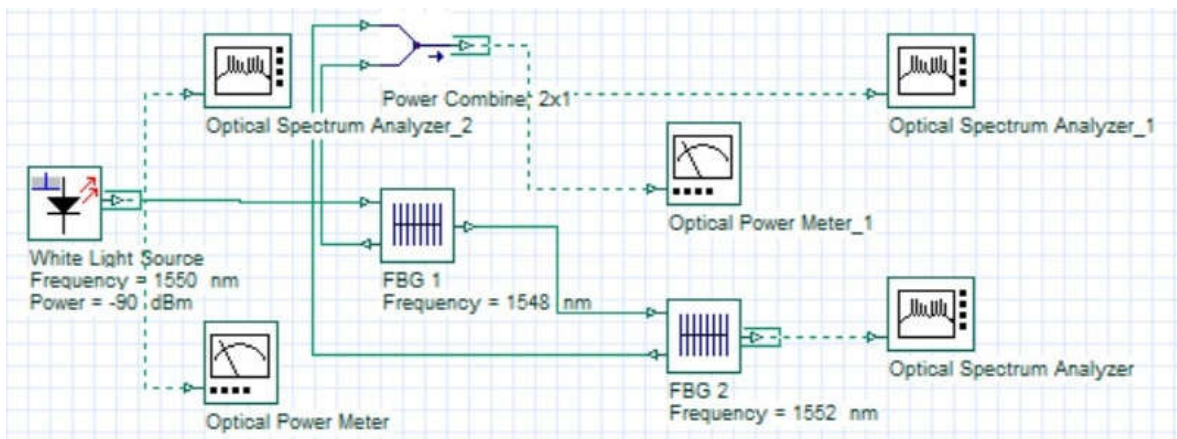


Bảng 3.1 Các thông số của các thành phần được thiết kế.

Các thành phần	Các thông số
White light source	Power = -90dBm, peak wavelength = 1550nm
FBG 1	Bragg wavelength = 1548 nm, reflectivity = 0.99, bandwidth = 125 GHz
FBG 2	Bragg wavelength = 1552 nm, reflectivity = 0.99, bandwidth = 125 GHz
WDM Transmitter	8 channel, Frequency = 192.1 THz, Frequency spacing = 100 GHz, power = 10 dBm, bit rate=10Gbps/channel
Tuyến quang	L = 100Km (Mô hình kết hợp với mạng cự li dài WDM)



(a) FBG mắc song song

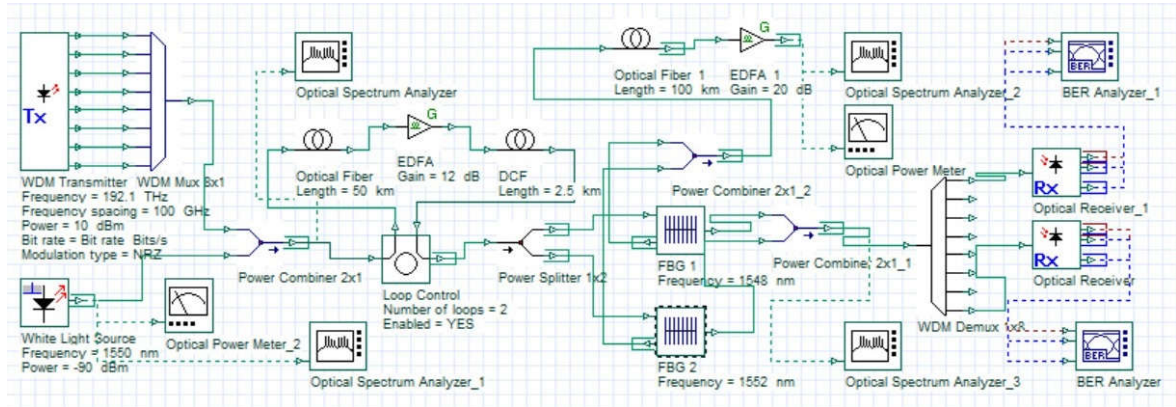


(b) FBG mắc nối tiếp

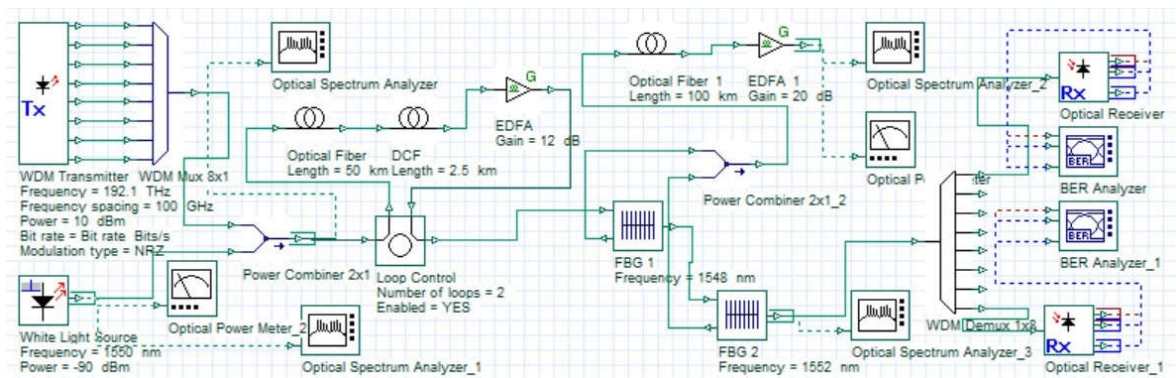
Hình 3.5. Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.



Ngoài các thành phần cơ bản phục vụ mô phỏng, để sát với thực tế, trên tuyến quang 100 km được bổ sung thêm bộ bù tán sắc (DCF) và bộ khuếch đại EDFA để bù lại các suy hao trên đường truyền và của DCF gây ra với mức suy hao khoảng 12 dB.



(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

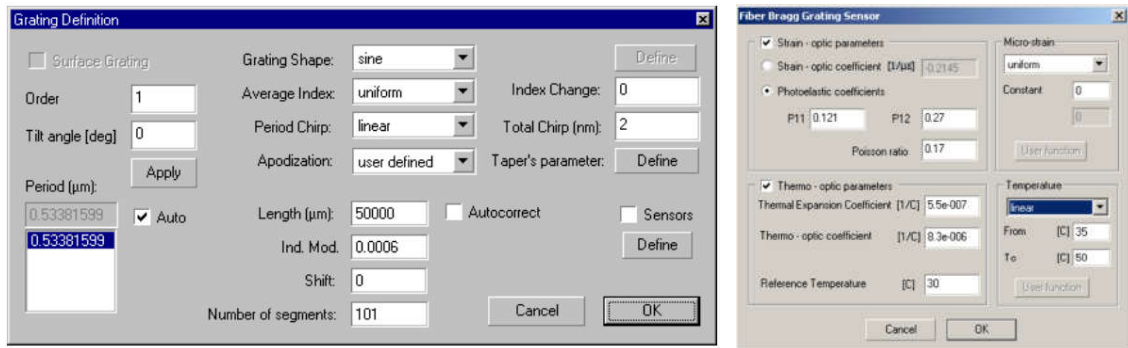
Hình 3.6 Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

### 3.3.2. Kết quả mô phỏng

Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả khảo sát các đặc tính của FBG đã được nghiên cứu thông qua phần mềm OptiGrating và các kết quả mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG thông qua phần mềm OptiSystem.

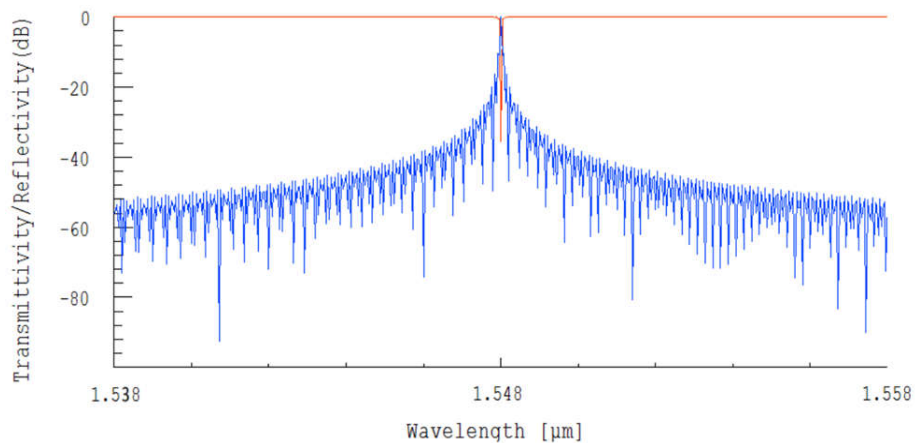
Các kết quả khảo sát liên quan đến đặc tính FBG và cảm biến quang FBG có các tham số được chọn như sau (minh họa trong Hình 3.7): Chiều dài cách tử 50000 $\mu\text{m}$  và chu kỳ cách tử 0,53381599 $\mu\text{m}$ ; Hệ số Pockel của tensor quang biến

dạng  $p_{11} = 0,121$ ;  $p_{12} = 0,27$ ; Tỉ số Poisson  $\mu = 0,17$ ; Hệ số quang nhiệt  $\alpha = 8,3 \cdot 10^{-6}$  (1/C); Hệ số giãn nở nhiệt  $\xi = 5,5 \cdot 10^{-7}$ .

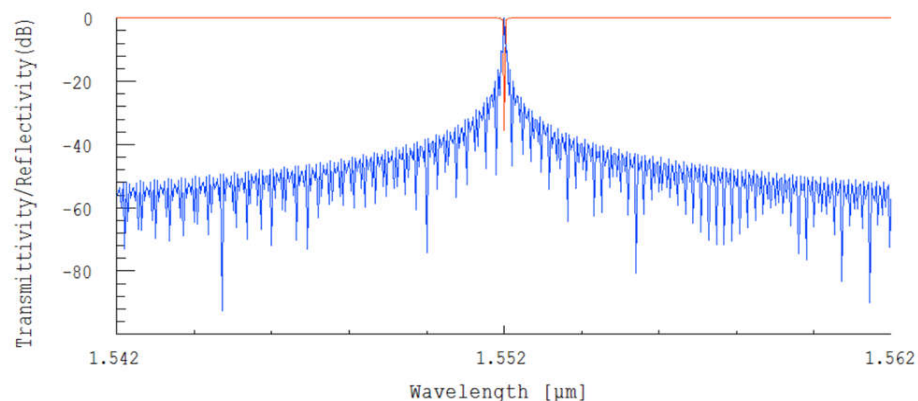


Hình 3.7 Các tham số của FBG và cảm biến quang FBG

Hình 3.8 là các đặc tính phổ phản xạ và phổ truyền qua của FBG ở bước sóng Bragg 1548 nm và 1552 nm.



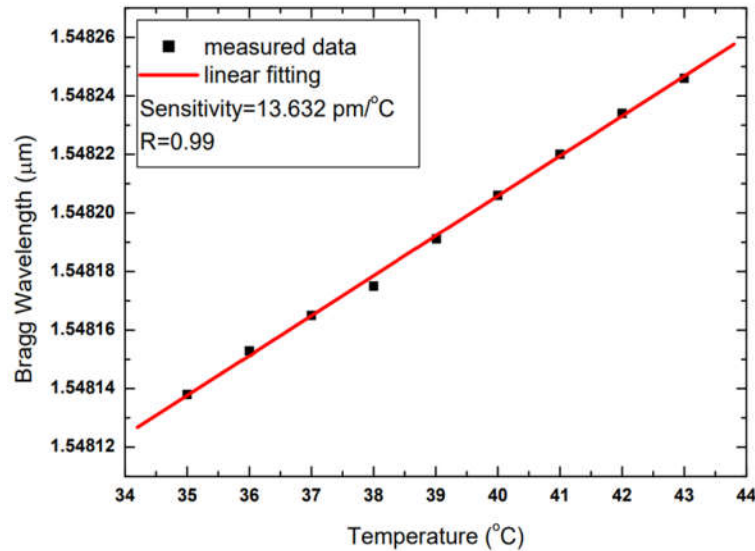
(a) Bước sóng Bragg 1548 nm



(b) Bước sóng Bragg 1552 nm

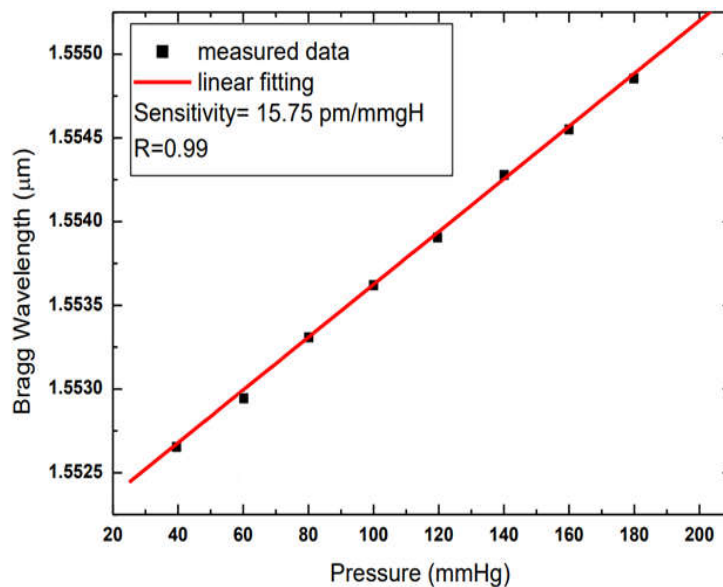
Hình 3.8 Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.

Mối quan hệ tuyến tính giữa nhiệt độ áp dụng và bước sóng Bragg dịch chuyển được minh họa trong Hình 3.9. Từ Hình 3.9 có thể thấy rõ độ nhạy được tính toán là  $13,632 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ . Như vậy FBG 1 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ, khi nhiệt độ càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



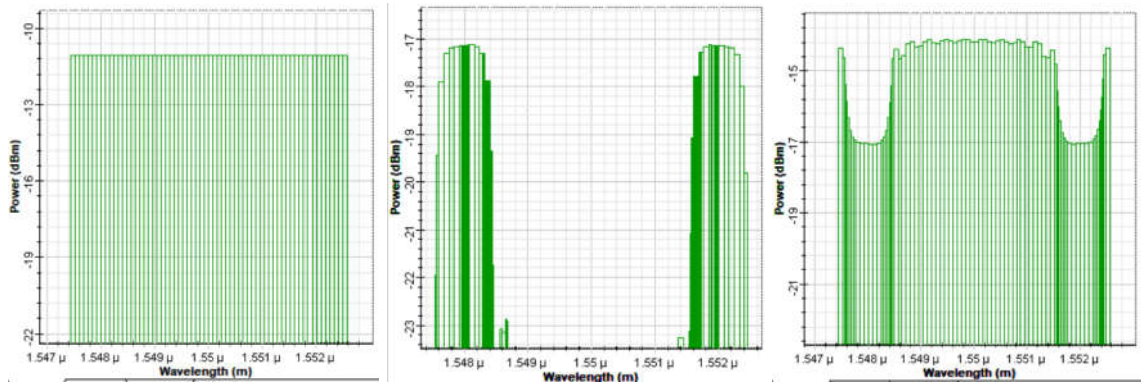
Hình 3.9 Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.

Hình 3.10 mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa áp suất khác nhau và bước sóng Bragg dịch chuyển. Từ Hình 3.10 cho thấy độ nhạy được tính toán là  $15,75 \text{ pm/mmHg}$ . Như vậy FBG 2 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của áp suất, khi áp suất càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.

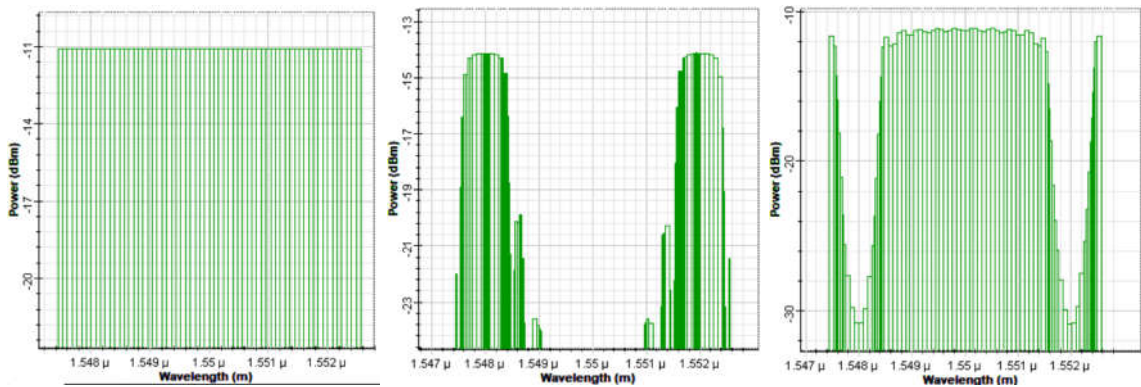


Hình 3.10: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo áp suất.

Hình 3.11 là phổ của nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.



(a) FBG mắc song song



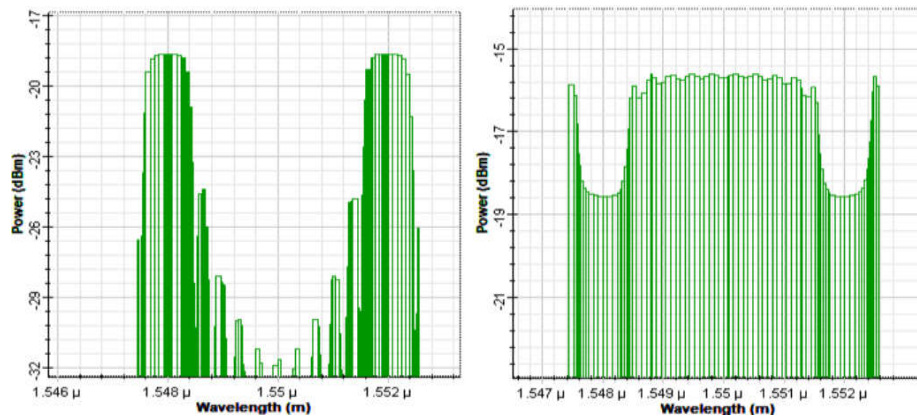
(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.11 Phổ nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.

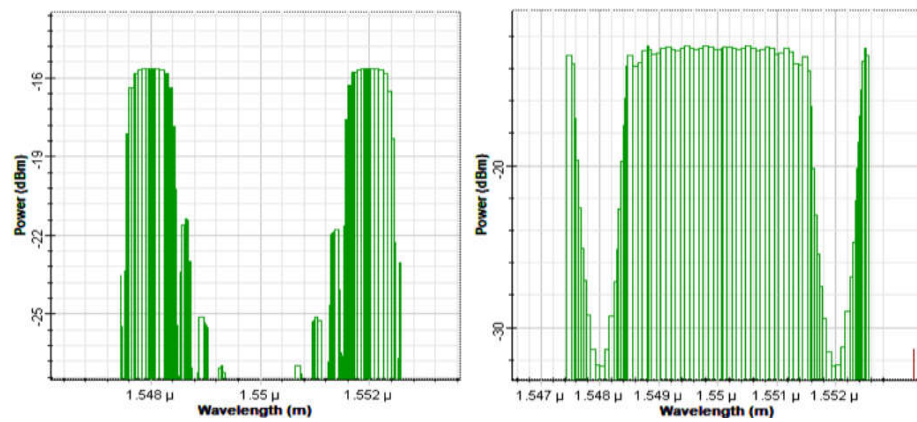
Theo lý thuyết đã nghiên cứu tại Chương 2, các yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi bước sóng phản xạ Bragg là chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang hoặc chu kỳ cách tử. Hiệu ứng biến dạng quang học và hiệu ứng quang nhiệt của cách tử sợi Bragg sẽ dẫn tới sự thay đổi của chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang và chu kỳ cách tử do đó sự thay đổi của nhiệt độ và độ biến dạng của FBG sẽ dẫn tới sự dịch chuyển của bước sóng Bragg. Kết quả mô phỏng đưa ra là hoàn toàn phù hợp với lý thuyết đã nghiên cứu.

Hình 3.12 là phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.





(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.12. Phổ phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

Từ kết quả mô phỏng có thể thấy, tại các bước sóng 1548 và 1552 tương ứng với FBG thiết kế, năng lượng bị phản xạ lại đầu phát và suy hao tại đầu thu của hệ thống cho thấy FBG đã phản xạ lại năng lượng tại bước sóng Bragg phù hợp với lý thuyết đã nghiên cứu tại Mục 2.3.

Từ phổ phản xạ của mô hình cảm biến quang FBG trên các Hình 3.11, Hình 3.12, có thể thấy rõ với mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp có công suất quang phản xạ cải thiện khoảng 3 dBm so với mô hình cảm biến quang FBG mắc song song. Việc cải thiện này là do khi ghép thụ động hai cảm biến song song, công suất quang được phân bố đều trên hai nhánh dẫn tới trên mỗi nhánh công suất giảm đi một nửa so với ban đầu tương ứng với 3dBm. Vì vậy mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp là rất phù hợp cho việc đo giám sát từ xa trong các hệ thống trên thực tế.

**Kết luận chương 3:**

Nội dung chương 3 đã trình bày cụ thể mô hình cảm biến quang FBG đề xuất. Một phần nội dung của chương cũng đã trình bày chi tiết về thiết lập mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đề xuất. Phần cuối của chương là phần kết quả khảo sát và thảo luận liên quan đến các tham số đo giám sát của cảm biến quang FBG trong các mô hình hệ thống khác nhau. Các kết quả mô phỏng cho thấy mô hình cảm biến quang FBG đề xuất rất phù hợp với các ứng dụng đo tại chỗ và đo từ xa khi kết hợp với mạng truyền thông quang WDM cự li dài. Đặc biệt khi sử dụng mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp.

## KẾT LUẬN

Đề án đã nghiên cứu tổng quan về các khái niệm, lịch sử phát triển, kiến trúc và các thành phần chính của một hệ thống IoT từ đó tìm hiểu về vai trò cũng như ứng dụng của cảm biến sợi quang trong hệ thống. Cùng với đó, đề án cũng đã đi sâu nghiên cứu về công nghệ FBG, cảm biến quang FBG và khảo sát các tham số đặc trưng của nó làm cơ sở để đề xuất các mô hình sử dụng cảm biến cho hệ thống IoT. Từ các kết quả nghiên cứu, học viên đã đề xuất một số mô hình sử dụng cảm biến quang FBG cho hệ thống IoT, mô phỏng hệ thống với cảm biến đo nhiệt độ và khảo sát các tham số đo giám sát của cảm biến quang FBG trong các mô hình hệ thống khác nhau.

Hướng nghiên cứu tiếp theo: Sau Đề án này, học viên định hướng nghiên cứu sâu hơn về các mô hình ứng dụng của cảm biến quang FBG sử dụng chuyên biệt trong các hệ thống IoT khác nhau.