

1 Introduction

In this experiment we analyzed the behavior of an FBG (Fiber Bragg Grating). The FBG uses the Bragg Mirror, which is a specific type of photonic crystal that acts as a mirror for a given range of frequencies. This photonic crystal can be modeled as a multilayer film where two materials with different refractive index are alternated. Imagining an ideal Bragg mirror the reflected wavelength is defined as $\lambda_{BRAGG} = \frac{2\pi}{k_{BRAGG}}$ where k_{BRAGG} it is the propagation constant of the phase and respects this rule $k_{BRAGG} \cdot (L_1 + L_2) = m \cdot \pi$ with $m \in \mathbb{N}$ and L_1, L_2 are the two lengths of the films. By inserting a Bragg mirror into the fiber we obtain a mechanical coupling between the two in particular in compression and elongation, in fact pulling the fiber is also pulled the mirror and then modified the period $(L_1 + L_2)$ which in turn changes λ_{BRAGG} . From this physical effect we can then relate elongation with the reflected frequency. This mirror, however, is also sensitive to temperature variations, in fact, in addition to creating an expansion or compression of the period, it introduces a variation of the silica refraction index induced by the thermo-optic effect.

The setup we use is composed of an optical amplifier that produces broad-band light that is inserted into a fiber containing an FBG, the light that is reflected then passes through an optical circulator that sends it to a spectrum analyzer (Fig.1).

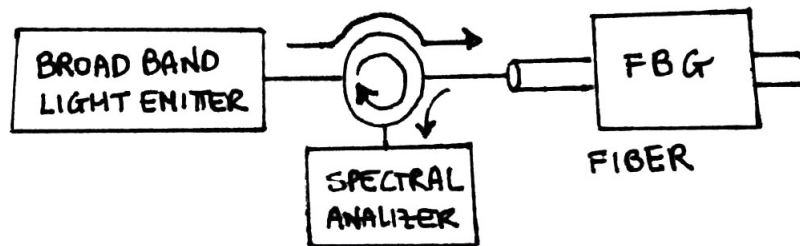


Figura 1: Setup.

What is done in this experiment is to measure the reflected wave frequency according to the applied elongation. In this case the elongation is performed by turning a circular manual tensor (ring): each rotation corresponds to an elongation of $0.5[mm]$ and on the ring there are 50 notches

and therefore we have an elongation of $0.01[mm]$ for notch. Our fiber started from a length of $14[mm]$ and we elongated it by $1.5[mm]$. The measurements we have performed are shown in (Tab.1), where for each rotation the value of the reflected frequency calculated by eye was reported. The table has three measuring columns because more consecutive measurements have been made starting from $14[mm]$ and reaching $14.75[mm]$ then going back to $14[mm]$ and then returning to $14.7[mm]$. The table also specifies with x the measurements where the spectrum was stored for computer analysis. From a first analysis we obtain the curve shown in (Fig.2).

Position [mm]	λ_B [nm]	λ_B [nm]	λ_B [nm]
14	1534,691	1534,682(x)	1534,682
14.05	1534.861	1534.87	1534.861
14.1	1535.032	1535.032	1535.041(x)
14.15	1535.229	1535.186	1535.212
14.2	1535.391	1535.357	1535.391(x)
14.25	1535.604(x)	1535.562(x)	1535.587
14.3	1535.784	1535.749	1535.767(x)
14.35	1535.937	1535.92	1535.946
14.4	1536.125	1536.108	1536.108(x)
14.45	1536.305	1536.262	1536.305
14.5	1536.509(x)	1536.45 (x)	1536.467(x)
14.55	1536.663	1536.646	1536.646
14.6	1536.851	1536.851	1536.842(x)
14.65	1537.03	1537.005	1537.005
14.7	1537.184	1537.184	1537.184(x)
14.75	1537.389(x)	1537.389	1537.38

Tabella 1: Measures.

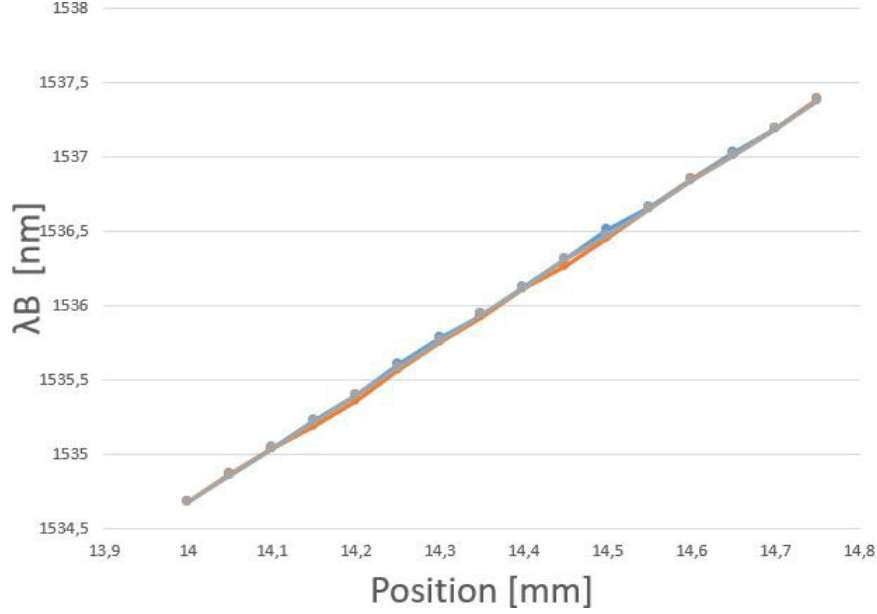


Figura 2: First analysis.

2 Analysis

First of all, the 13 files were imported. They contain the data related to the spectra measured by the spectrometer and contain: the two values of starting frequency and frequency step in THz; and then the list of reflected power values read in dB. The importation was made by converting the frequency values into wavelength values through the physical relation $\lambda = \frac{c_0}{f}$, to each of these values the corresponding power value has been assigned as shown in (Fig.3). From this figure it is also possible to clearly identify the peak to be analyzed, since while the signal has values lower than $-50[dB]$ and it has a value of approximately $-30[dB]$. A questo punto per ogni file viene cercato il valore della lunghezza d'onda corrispondente al punto di massimo; per migliorare l'analisi viene eseguita un'interpolazione dei punti attraverso una funzione quadratica. Un punto chiave è stato scegliere quali punti considerare nell'approssimazione. Il primo tentativo è stato mediante un'approccio classico, si è scelto di considerare tutti i punti che sono sopra il 90% del picco che ha comportato una soluzione come in (Fig.4), da come si può vedere in questa immagine ci sono un po' di punti intorno al picco che aggiungono del rumore, la scelta successiva sarebbe stata quindi optare per una percentuale maggiore ma così facendo si sarebbe dovuto calcolare a mano per ogni spettro il valore di percentuale ottimale; invece si è scelto un'altro approccio. La soluzione alternativa è stata basata sulla caratteristica di simmetria del picco e segue il seguente approccio: partendo dal punto

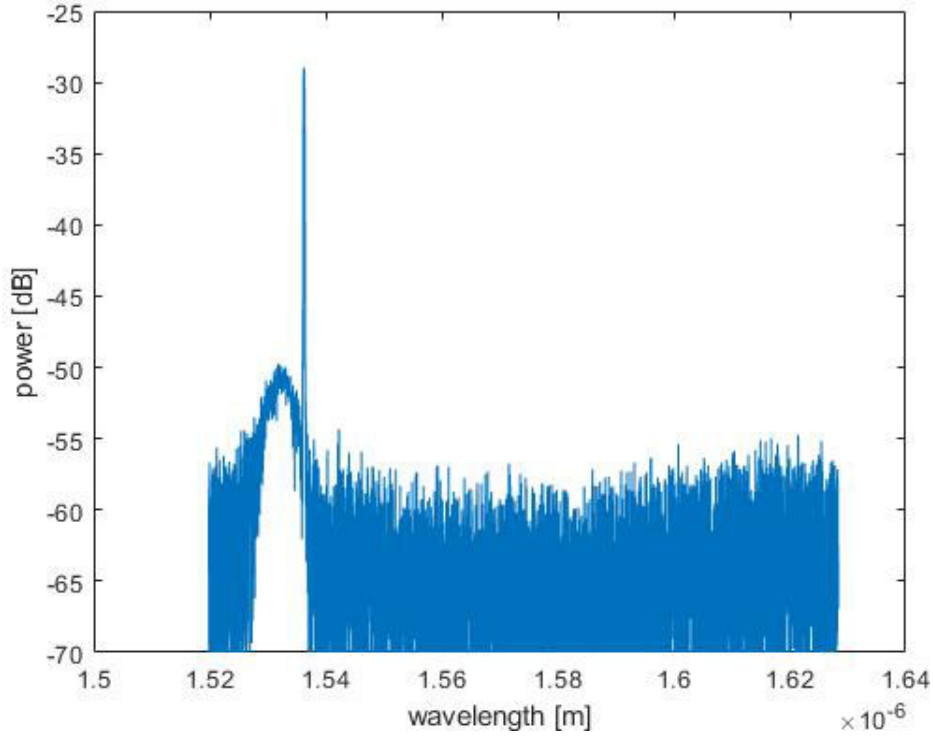


Figura 3: Spectral power for 14[mm] of elongation.

massimo ci si sposta lateralmente fino a quando non si trovano punti con valori decrescenti, l'esempio di filtraggio dei punti è mostrato in (Fig.5).

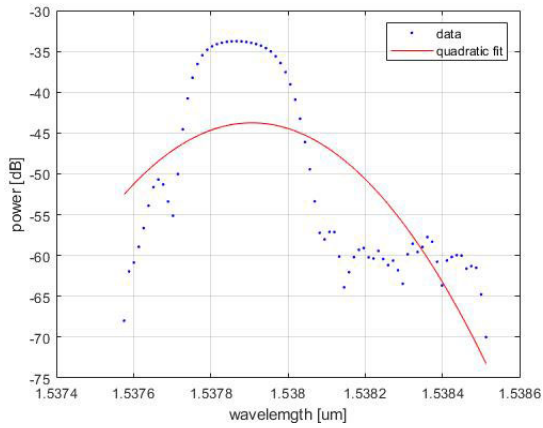


Figura 4: Quadratic fit scale 90%.

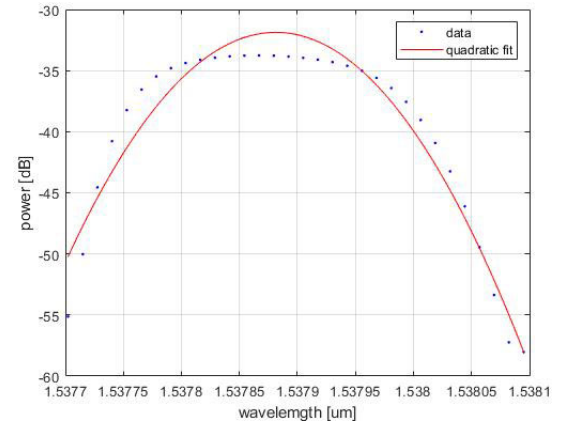


Figura 5: Quadratic fit descending cutting mode.

A questo punto si è messo in relazione i valori delle lunghezze d'onda appena calcolate con in valori di elongazione come mostato in (Fig.6), avendo impostato i 14[mm] come nostro valore di 0 otteniamo un'elongazione di 0.75[mm]. Da qui abbiamo proceduto con un fit lineare per poter ricavare il

coefficiente angolare che corrisponde a $a = \frac{\Delta\lambda}{\mu\epsilon} = 3.588 \cdot 10^{-3}$, esso contiene l'informazione della deformazione del FBG che dipende dalla temperatura e dall'elongazione. Supponendo che la temperatura all'interno della stanza

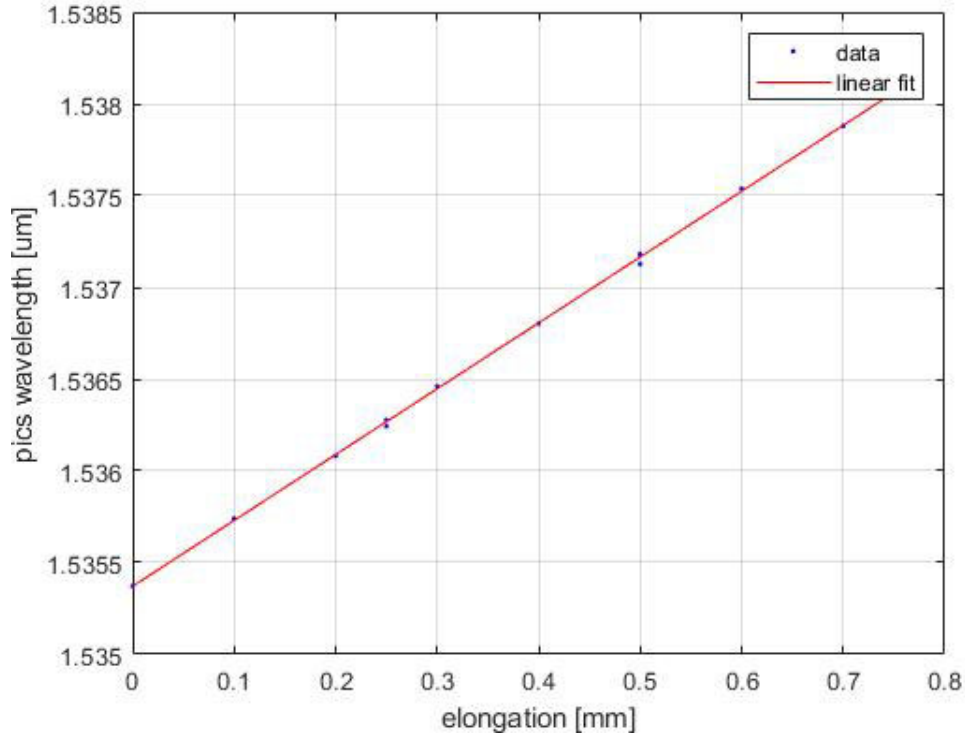


Figura 6: Elongation.

fosse omogenea e che abbiamo svolto l'esperimento in un tempo sufficientemente breve l'effetto della temperatura diventa trascurabile rispetto a quello dell'elongazione. Questo viene anche confermato dall'andamento lineare dei dati ottenuti che si distacca dalla retta di fit di soli $RMSE = 1.6 \cdot 10^{-5}$. Da questo valore possiamo calcolare la sensibility dello strumento mediante la formula:

$$s = \frac{L}{a} = 0.0865[\mu\epsilon]$$

con $L = 310.5[mm]$ la lunghezza della fibra a riposo.

3 Conclusion

Il valore ottenuto è molto simile ai valore tipico per sensori di questo tipo:

$$\Delta(\mu\epsilon) = \frac{1[pm]}{1.2[\frac{pm}{\mu\epsilon}]} \approx 0.8[\mu\epsilon]$$

L'andamento dei dati raccolti è stato ottimo perché hanno prodotto un andamento lineare come ci aspettavamo con un discostamento di $RMSE = 1.6 \cdot 10^{-5}$. Avendo eseguito le misure sia in contrazione che in elongazione abbiamo avuto la possibilità di controllare l'esistenza o meno di un comportamento di isteresi. I dati raccolti sebbene molto pochi suggeriscono la mancanza di isteresi visto il valore basso di RMSE.