



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

Montaje del sistema experimental y primeros  
resultados de medida de termómetros  
nanofotónicos de Si

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Índice

- Introducción
- Dispositivos fotónicos
- Sistema experimental
- Resultados
- Situación actual
- Conclusiones

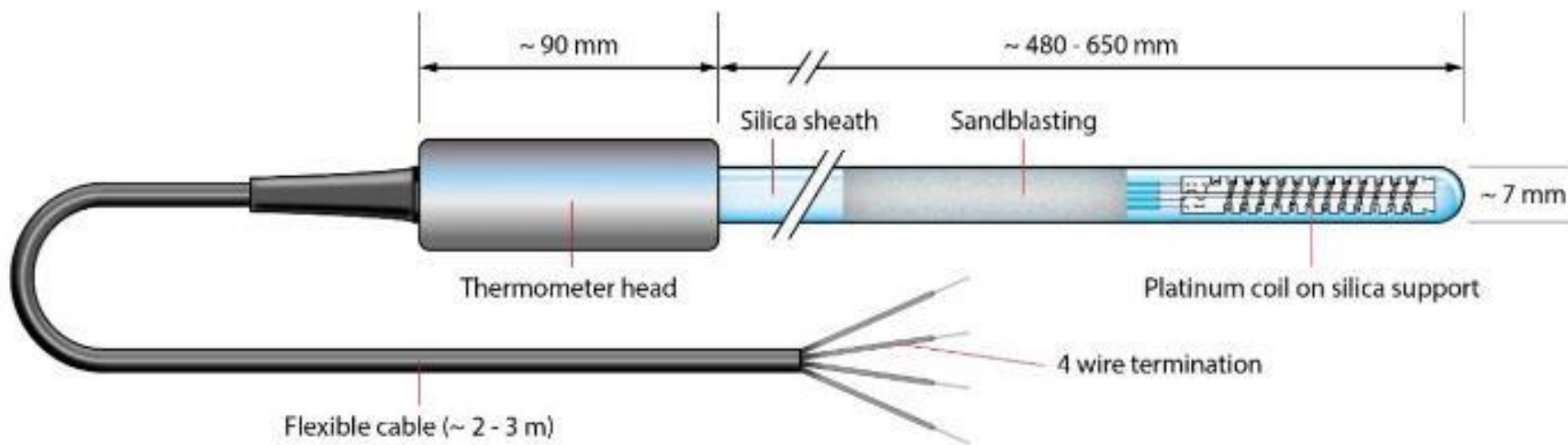


## Introducción

Los termómetros más precisos en la actualidad son los termómetros de resistencia de platino patrón (TRPP)

Basados en el cambio del valor de su resistencia

Elemento sensible es un bobinado de platino en el extremo del encapsulado del termómetro





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Introducción

### Ventajas TRPP's

- Instrumentos de interpolación de la escala EIT-90
- Resolución de décimas de mK

### Inconvenientes

- Sensibilidad a perturbaciones mecánicas y ambientales  
Humedad y contaminación química
- Valor de la resistencia varía con el tiempo  
Irreproducibilidad en las medidas
- Calibraciones frecuentes



## Dispositivos fotónicos

Desarrollo en los últimos años de la termometría fotónica como alternativa a la termometría de resistencia

Sensor fotónico: Basado en la interacción luz-materia

Ventajas

- Mayor robustez a las perturbaciones mecánicas
- Insensibilidad a interferencias electromagnéticas
- Miniaturización  $\Rightarrow$  resolución espacial mayor
- Fabricación en masa posible. Tecnología de semiconductores

Se basan en el cambio de las propiedades ópticas de un material debido a la temperatura. Generalmente el efecto termo-óptico (cambio del índice de refracción) y dilatación de “estructuras ópticas” ( $\rightarrow$  resonador óptico)



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Dispositivos fotónicos

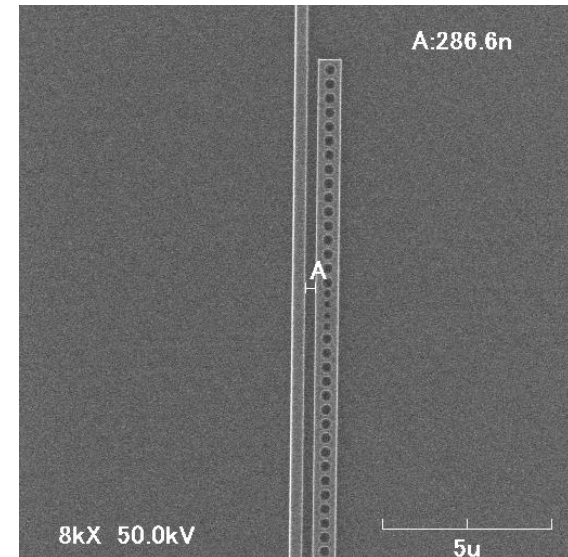
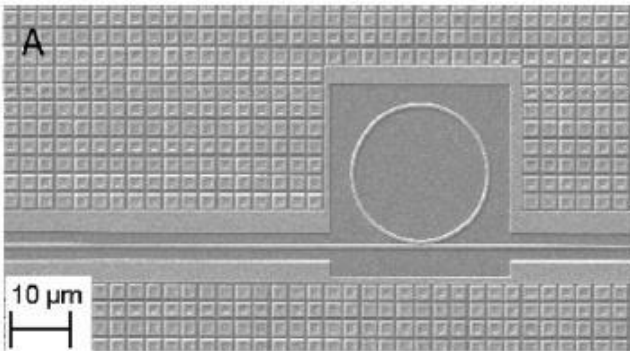
Diferentes tecnologías

- Resonadores de anillo (ring resonators)
- Cavity de cristal fotónico (photonic crystal cavity, PhCC)

Silicio sobre aislante (silicon on insulator, SOI, Si over SiO<sub>2</sub>)

Nitruro de silicio (silicon nitride, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

Más materiales: GaP, GaN, diamante





## Dispositivos fotónicos

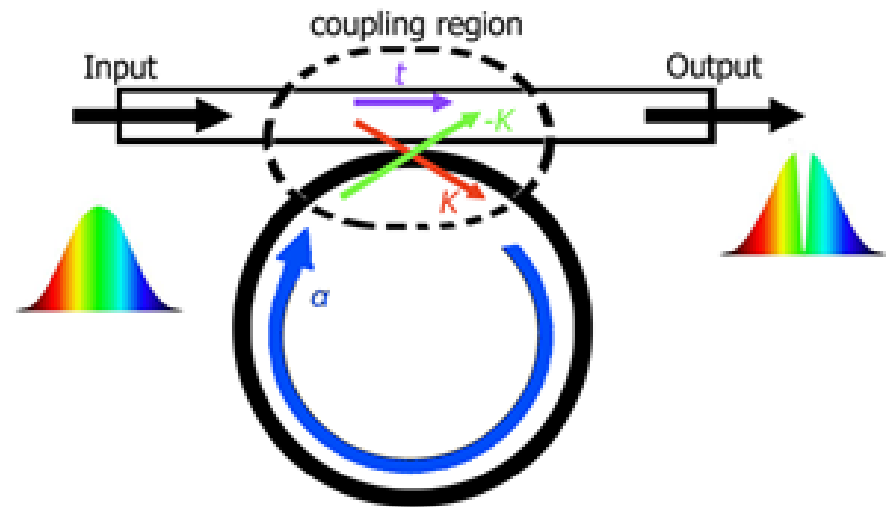
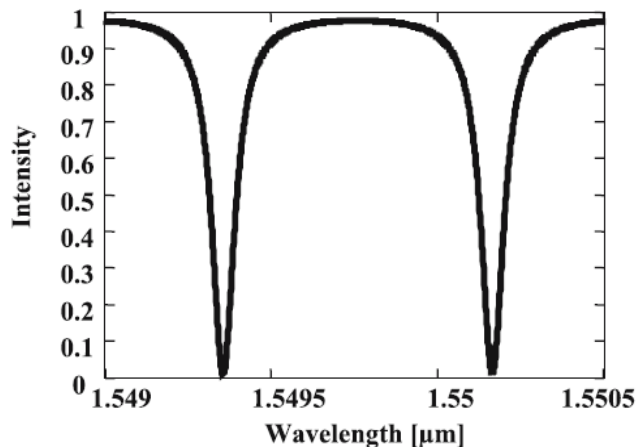
La luz que recorre la guía de onda es atrapada por la cavidad óptica

Para una determinada longitud de onda, correspondiente a la de resonancia, que depende de los parámetros geométricos y del material, toda la luz es atrapada por la cavidad

Acoplamiento de la guía al resonador  $\leftrightarrow$  efecto de campo evanescente

No existe contacto entre la guía y el resonador

Sensibilidad dispositivo en pm/K





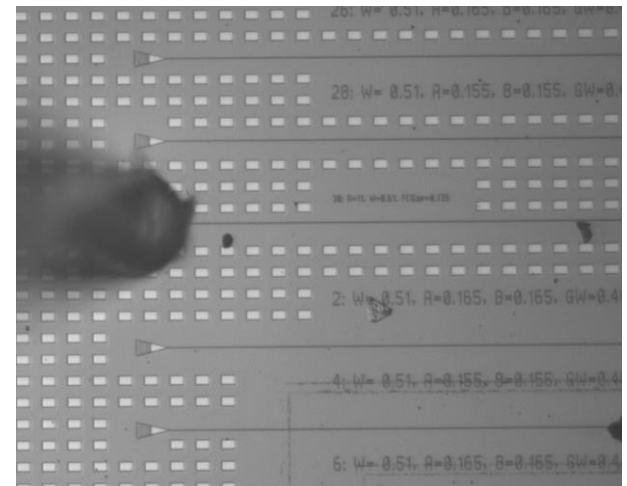
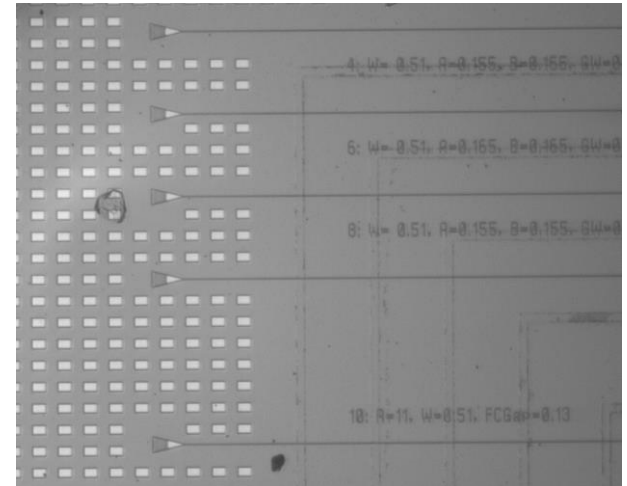
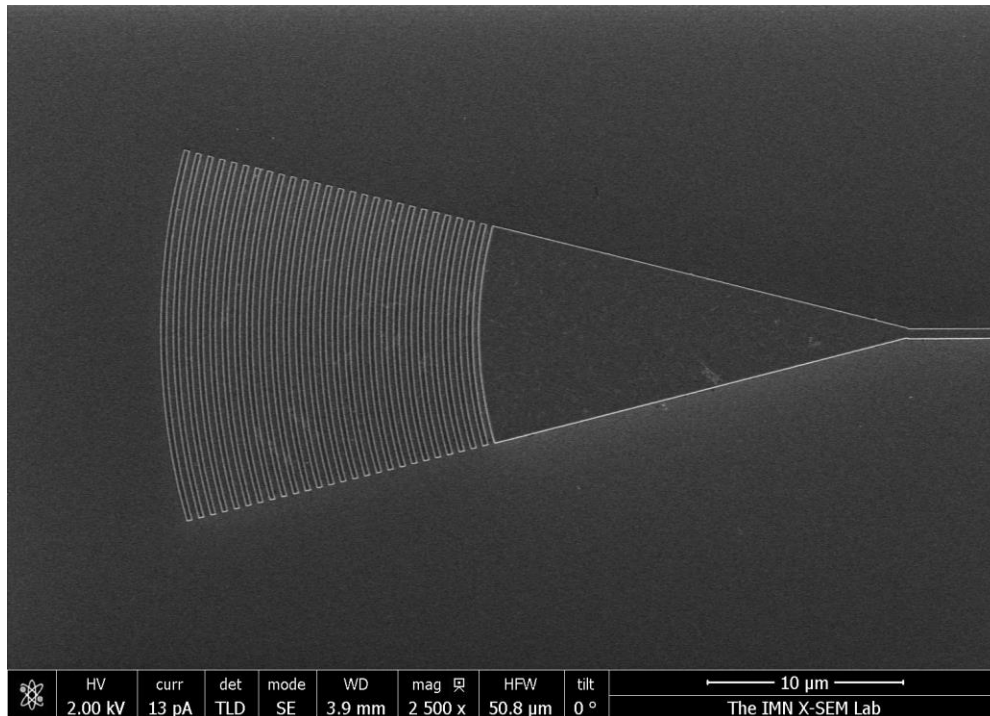
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Dispositivos fotónicos

La luz se introduce en el dispositivo a través de unas estructuras en los extremos de las guías de onda





## Sistema experimental

### Requisitos

Control preciso posición fibras (inferior a  $\mu\text{m}$ )

- Estaciones movimiento 3 ejes XYZ
- Sistema nanoposicionadores piezoeléctricos

Control preciso temperatura (y estabilidad)

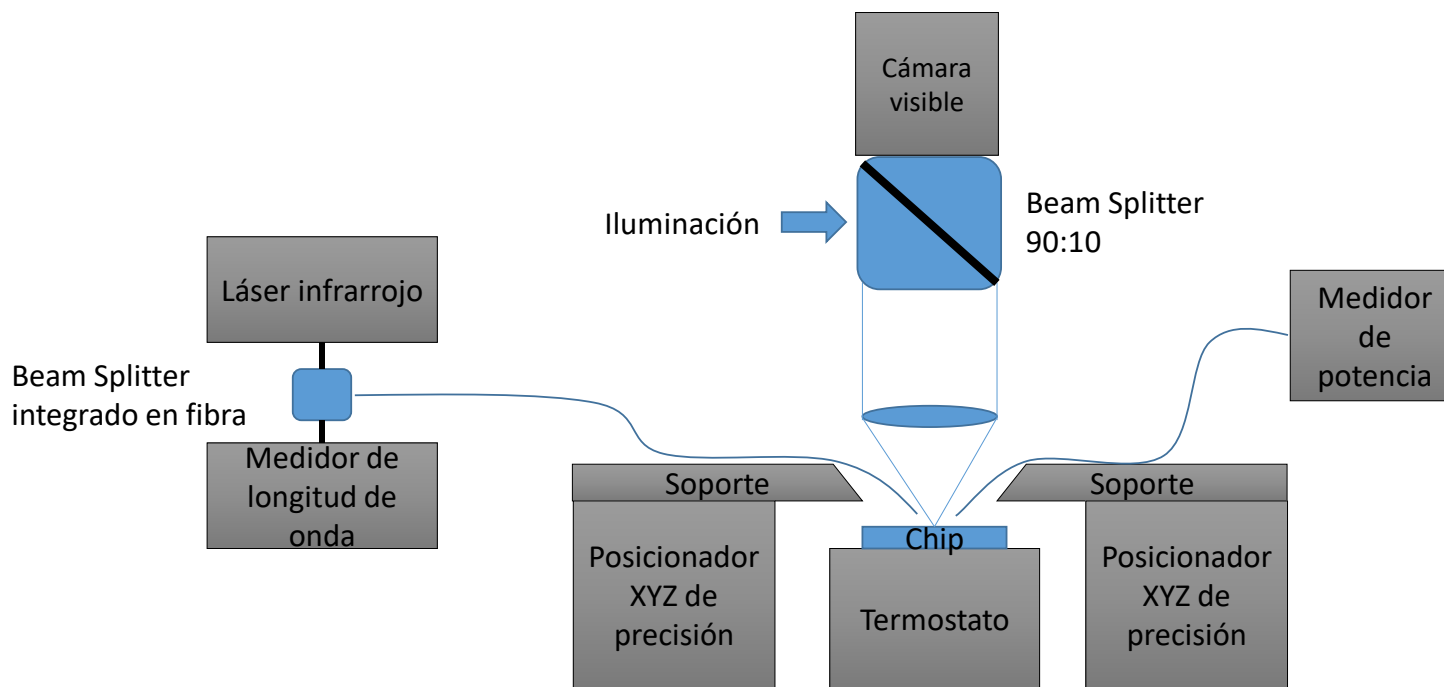
- Baño térmico circulatorio de alta estabilidad
- Plataforma termostática (aluminio o cobre)

Control preciso longitud de onda de la luz

- Láser sintonizable de alta estabilidad (resolución pm)

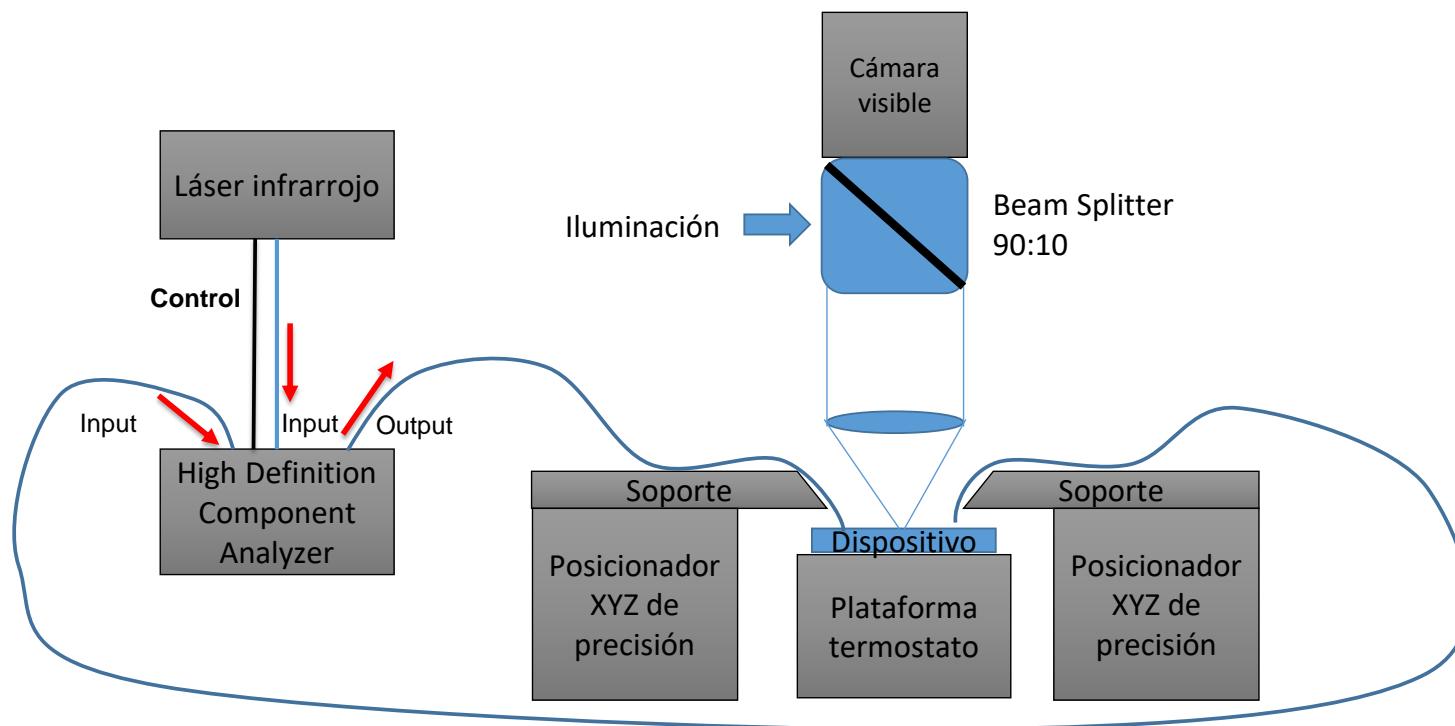


## Sistema experimental





## Sistema experimental





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Sistema experimental

### Equipos

- Láser infrarrojo sintonizable (Santec TSL-710, 1480 nm – 1640 nm)
- Analizador de componentes (Aragón Photonics HDCA)
- Medidor de longitud de onda (HighFinesse WS/5)
- Baño térmico de alta estabilidad (Julabo Corio CD-200F)
- Estaciones XYZ (Newport M562F-XYZ)
- Nanopositionadores (Newport PZA 12, resolución < 30 nm)
- Fibras ópticas (SMF-28-J9, FC/APC – Flat Cleave)

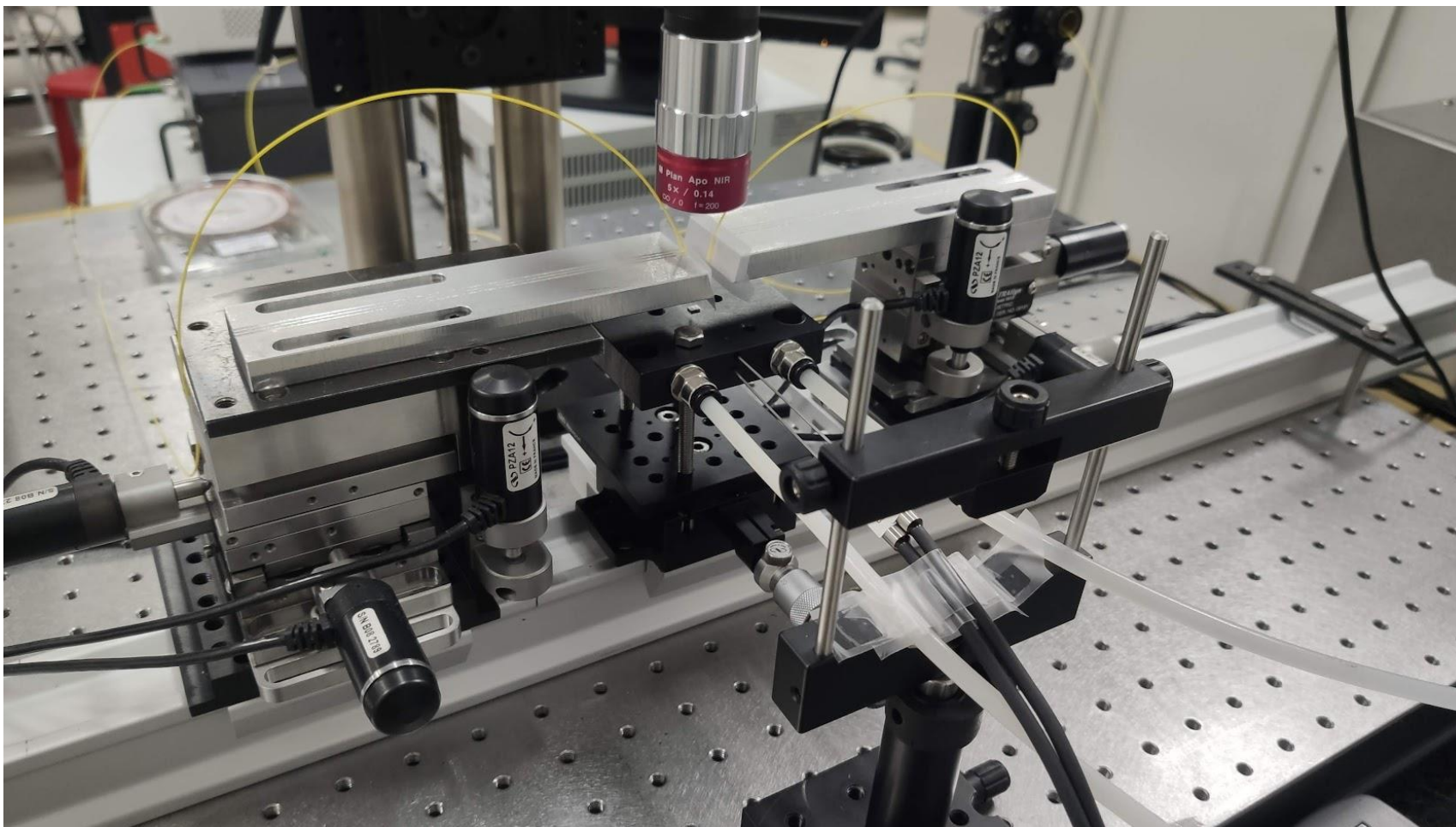


GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Sistema experimental



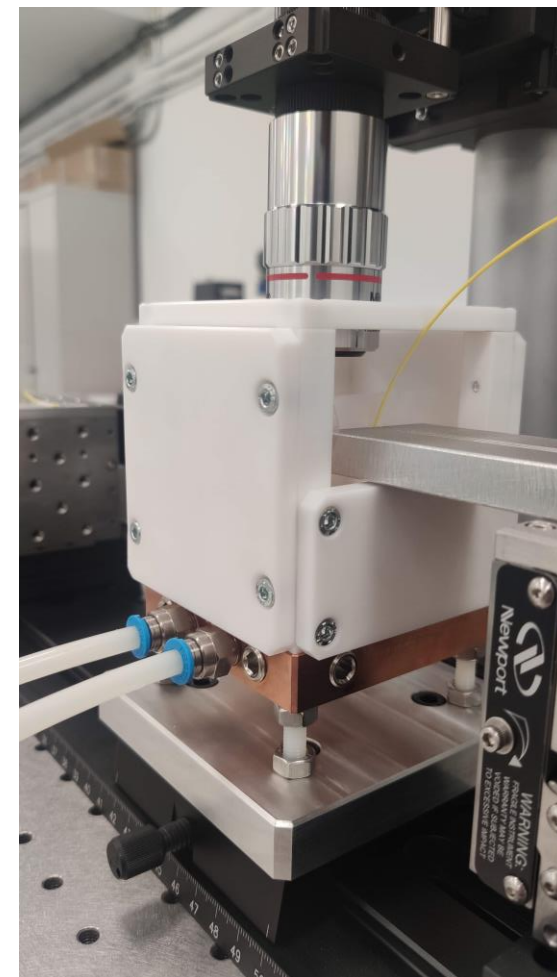
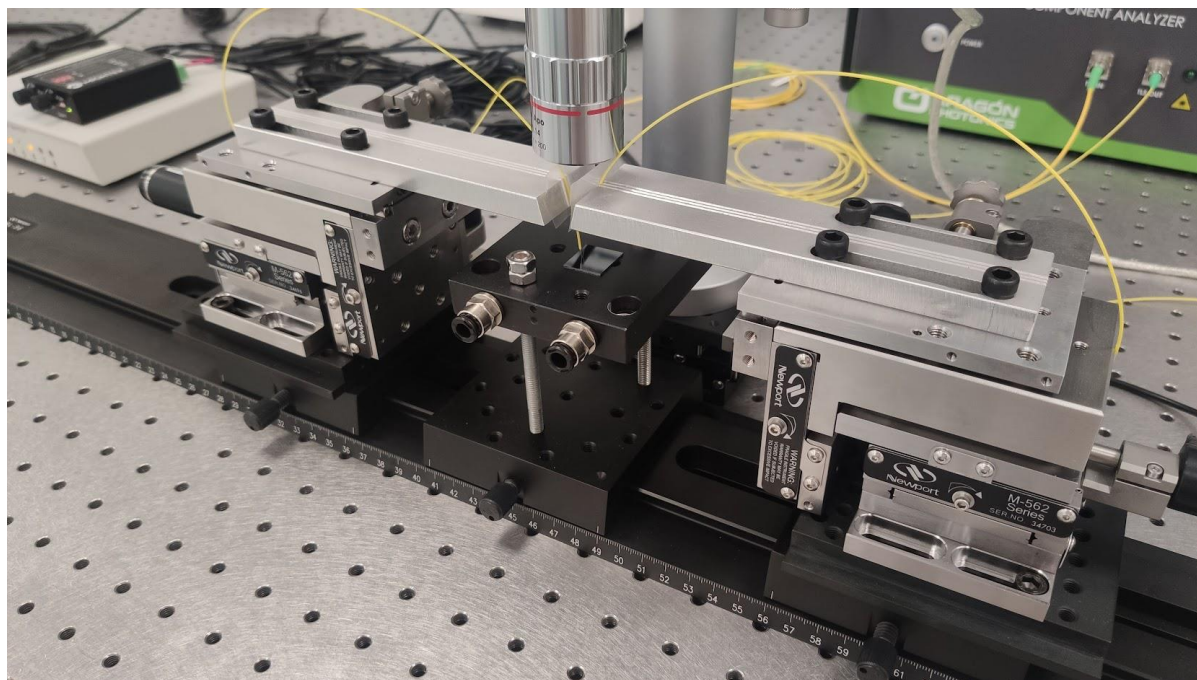


GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Sistema experimental





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Resultados

Caracterización magnitudes de influencia

- Estabilización térmica
  - Estabilidad temperatura, influencia flujo del agua
- Autocalentamiento
- Medición de longitud de onda

Dispositivos de ensayo facilitados por NIST (EEUU) e IHP (Alemania)



## Resultados

### Estabilización térmica

1. Medidas con termistor NTC y Pt100 a 20 °C y a 60 °C en volumen

Se han estimado las siguientes incertidumbres

	20 °C	60 °C
Estabilidad, s	4 mK	14 mK
Temperatura de superficie, variación max	20 mK	50 mK

2. Diferencia entre temperatura en volumen y en superficie: La temperatura de la superficie se mide con Pt100 plana pegada cerca del dispositivo y se corrige por conducción

Máxima corrección aprox 4 °C a 60 °C

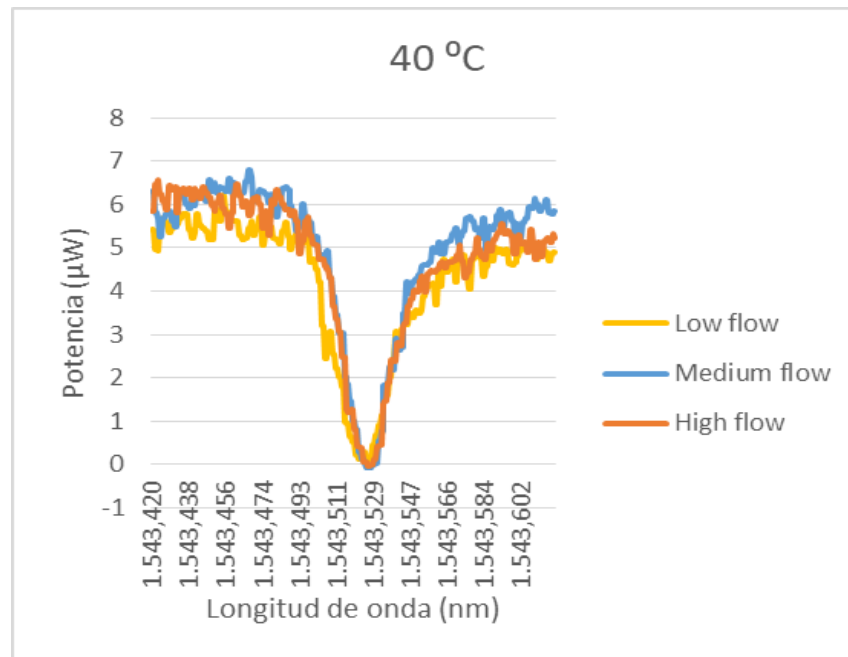
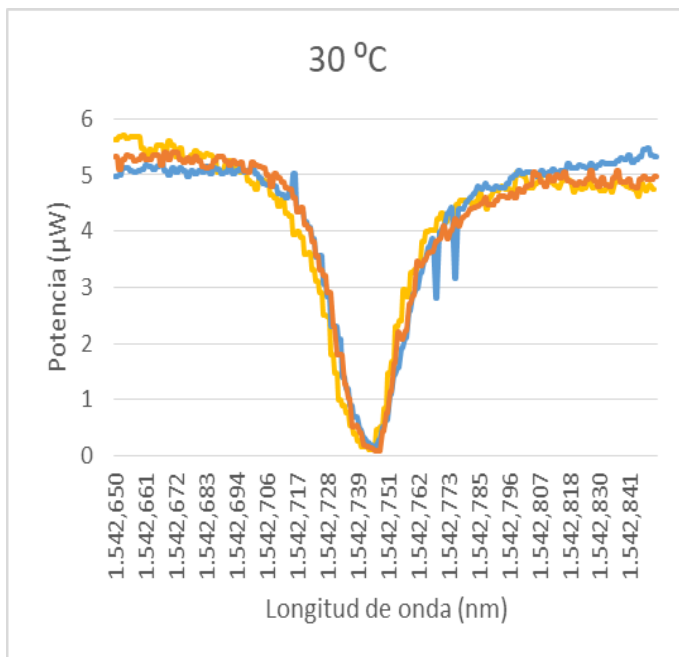


## Resultados

### Estabilización térmica

El baño tiene un tornillo que permite regular el caudal de agua

Para cada temperatura el nivel de ruido es similar para los distintos caudales





## Resultados

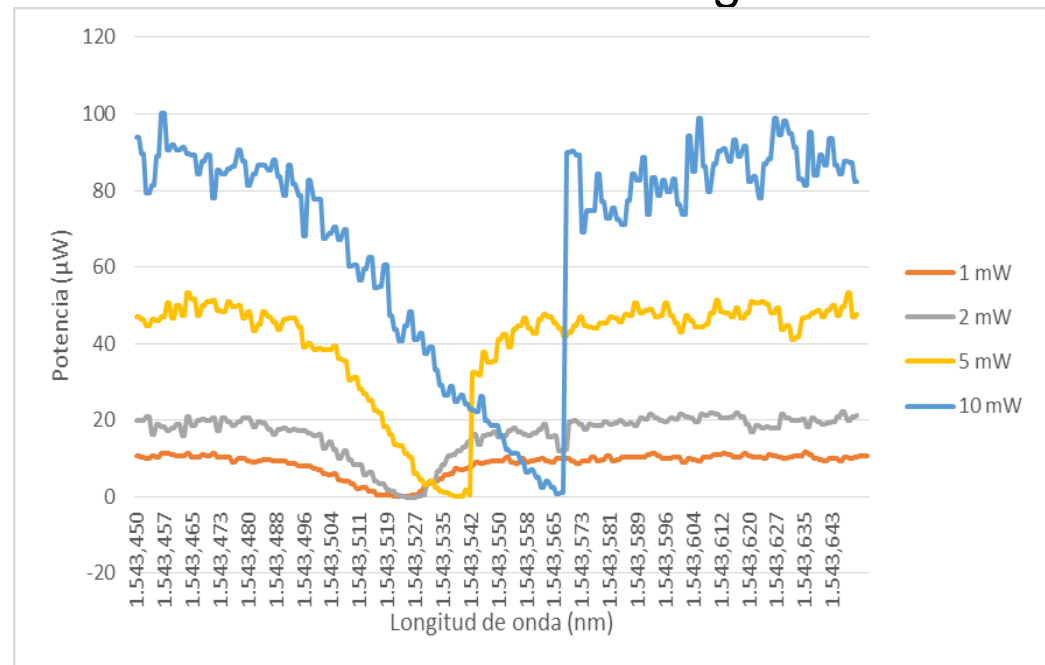
### Autocalentamiento

La forma del espectro cambia con la potencia del láser

Este efecto es distinto para cada material debido a la energía de la banda prohibida (bandgap)

Proporcional a la energía absorbida y aún más pronunciado en materiales de alto índice de refracción

Two photon absorption





GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

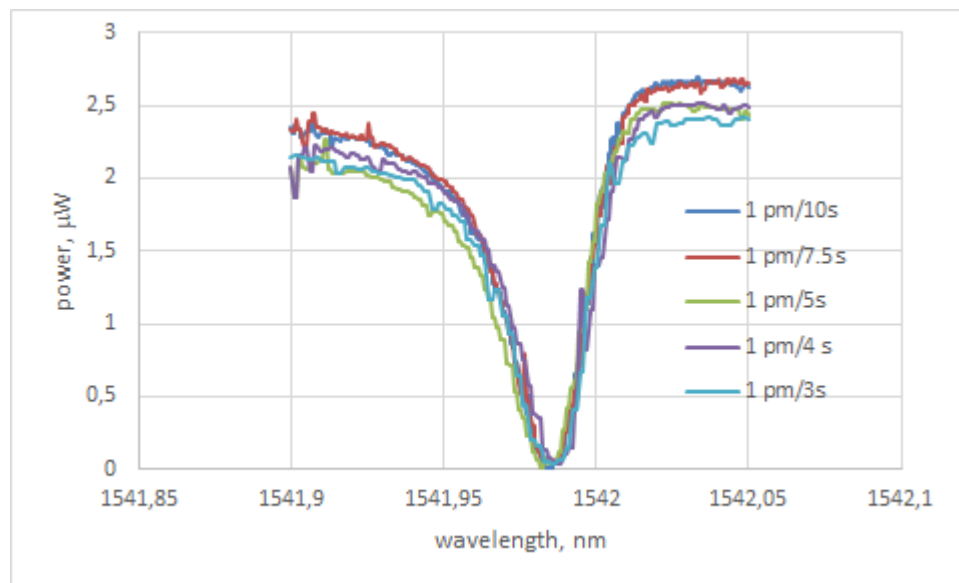
# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## Resultados

### Medida de la longitud de onda

Se han comparado las velocidades de barrido de ambos sistemas (detector InGaAs y HDCA)

Con el detector las velocidades han sido 0,1 pm/s, 0,13 pm/s, 0,2 pm/s, 0,25 pm/s y 0,33 pm/s  
Con el HDCA sólo se ha realizado a 100 nm/s (todo el espectro)



Los efectos derivados de la utilización de diferentes sistemas de medición y de la velocidad de barrido son inferiores a 0,01 nm



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

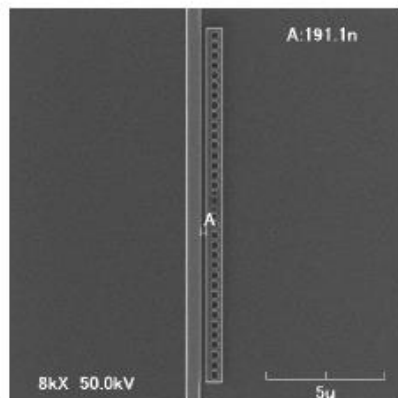
MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

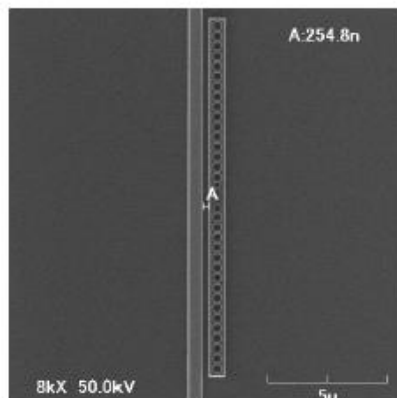
## Situación actual:

- Sistema listo para medir dispositivos fabricados en España.
- Colaboración con ICMN-CSIC para las simulaciones de los dispositivos: Si, cristal fotónico inicialmente (proyecto PhotoQuant previo)
- Fabricación en sala limpia del ISOM (Ingenieros Superiores de Telecomunicación, UPM). En proyecto previo PhotoQuant no se pudieron fabricar en IMN-CSIC por problemas técnicos.

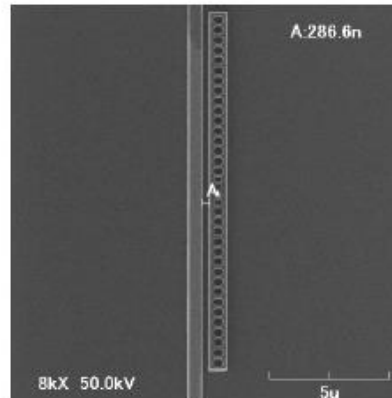
Array-4: Elemento 1.1



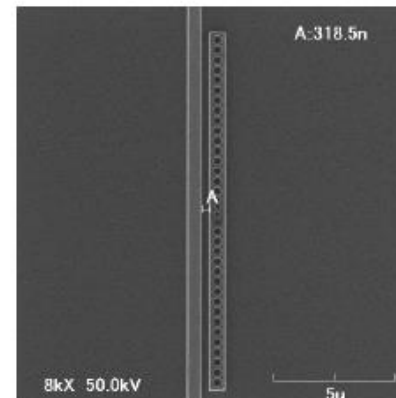
Array-4: Elemento 6.2



Array-4: Elemento 7.4



Array-4: Elemento 8.4





## Conclusiones

- El CEM ha desarrollado un sistema experimental para la medida y calibración de dispositivos fotónicos para su uso como termómetros
- Está basado en un termostato que funciona en el rango de 20 °C a 80 °C con alta estabilidad en el que se coloca el dispositivo a medir
- El acoplamiento de la luz ocurre en espacio libre (free space light coupling) a través de fibras montadas en un sistema de nanoposicionamiento
- El sistema de medida se ha caracterizado en estabilidad en temperatura y se han estudiado diversas variables que afectan a la medida de estos dispositivos
- El sistema se va a utilizar a corto plazo para la medida de resonadores basados en cavidades de cristal fotónico en Si diseñados por el IMN-CSIC y fabricados por el ISOM



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Montaje del sistema experimental y primeros resultados de medida de termómetros nanofotónicos de Si

## GRACIAS POR SU ATENCIÓN

