

1. Motivaciones y conceptos

En el Laboratorio de Electrónica Cuántica (LEC) se dispone de un microscopio SPIM (de Single Plane Illumination Microscope, o microscopio de iluminación de plano único). Este microscopio hace uso de muestras con fluoróforos e ilumina en cada instante las muestras con una hoja de luz (lightsheet). Esto elimina el photo-bleaching, o blanqueo de los fluoróforos, y a su vez si se miden varios planos se puede generar una imagen 3D de la muestra.

La construcción de este microscopio requiere determinar

- El perfil del haz a la entrada del microscopio, ya que este haz determina el tamaño de la hoja del haz.
- El perfil del haz a la salida del telescopio, antes del objetivo, ya que este debe enfocar en el objetivo para disminuir el tamaño del lightsheet
- El espectro del haz, ya que determina los fluoróforos a utilizar
- Finalmente, la polarización del haz. Si esta polarización es lineal permite hacer mediciones de anisotropía, es decir la distribución en el espacio, de los fluoróforos

Con miras de poder calibrar este microscopio, se diseñó y construyó instrumental portátil, que sea de fácil colocación y uso. En particular se construyeron

- Perfilador
- Polarímetro

1.1. Concepto del perfilador

Un perfilador de haz es un instrumento dedicado a medir el perfil espacial de un haz. El concepto más simplificado de perfilado es el observado en a figura, que al cortar con el filo el haz se puede obtener la intensidad restante. Estos perfiladores se denominan integradores, ya que la señal medida es la integral del perfil.

Por otro lado se puede medir con una cámara, pero este sensor debe tener suficiente rango dinámico y resolución espacial, lo que encarece el precio. Mientras los sensores integradores conllevan una complejidad mecánica, pero se pueden usar sensores más baratos (como son los fotodiodos).

El diseño que se encaró en este trabajo consiste en un perfilador integrador y se resolvió la mecánica de la medición. Por lo tanto, si se mide un haz gaussiano, como corresponde a la gran mayoría de los láseres comerciales, el perfil de intensidades, es decir la integral del perfil, es la función error

1.2. Concepto del polarímetro

El otro instrumental encarado corresponde a un polarímetro, es decir un instrumento capaz de medir la polarización del haz. Es de interés poder determinar el tipo de polarización y además, de prioridad menor, los ángulos de polarización, por lo que se encaró el siguiente concepto.

Este polarímetro, al rotar la lámina polarizadora, permite rápidamente determinar si la polarización es circular o lineal; si la polarización es circular la intensidad es constante, y si la polarización es lineal se observaría la ley de Malus (de coseno cuadrado). Sin embargo, si la señal fuese elíptica, podría observarse un coseno cuadrado con un offset. Para eso se considera medir la diferencia entre máximo y el mínimo de la señal, dividido por la suma del máximo y el mínimo; esta magnitud representa la polarización y debe ser cercana a 1 si el sistema está linealmente polarizado, o 0 si está circularmente polarizada.

La precisión al determinar el ángulo de polarización viene determinada 100 % por la precisión de movimiento del motor, para el cual es natural utilizar motores paso a paso o servomotores.

2. Laboratorio 6

Dadas las motivaciones del trabajo, ahora se presenta una reseña del proyecto concluido en laboratorio 6

2.1. Perfilador en Laboratorio 6

El diseño del perfilador al finalizar laboratorio 6 consiste en el siguiente, que tiene como propiedades importantes

- Diseño autoportante.
- Tambor de perfilación permite medir en sistema Cage de Thorlabs. Permite medir divergencias.

- Tambor impreso en 3D.
- Motor paso a paso NEMA 17. 200 pasos por vuelta. Máximo 15rps.

2.2. Electrónica de adquisición

- uC Teensy v3.2. CPU 96MHz, y 64KiB RAM. ADC 1Msps max.
- Pololu A4988. Motores hasta 1.5A por fase
- Buffer de puerto serie de 1200 datos
- Software de ajuste en continuo cambio. Hecho en Python
- Máxima adquisición de 12 perfiles por segundo, limitación del uC/Software.

2.3. Mediciones de calibración

Finalmente, se hicieron mediciones de calibración, a la entrada del SPIM, que en ese momento usaba un colimador F220. Se puede observar una diferencia importante en la perfilación entre distintas obturaciones; en laboratorio 7 se pudo determinar que el origen de esta diferencia es mecánica, por lo que se hicieron mejoras en los diseños

Si se hace zoom sobre esta medición podemos ver que la función error no ajusta correctamente al empezar a obturar el haz. Esto se considera que es un problema de adquisición, debido a la resistencia de carga utilizada. Se considera amplificar la señal del fotodiodo

3. Laboratorio 7

Con los resultados anteriores se avanzó sobre el perfilador en laboratorio 7 y se construyó el polarímetro.

3.1. Perfilador

En laboratorio 7, se repensó el perfilador con un soporte con mayor agarre del motor, además de un sistema más simple para colocarlo rápidamente en la mesa óptica. El primer diseño se puede ver en la figura y tiene las siguientes propiedades

- Soporte adosable a la mesa óptica por pernos. Fácil colocación
- Motor encastrado en soporte. No hay artefactos mecánicos
- Tambor de metal con superficie no reflectante
- No permite medir fácilmente en el otro eje. Habrá otra iteración

Posteriormente, se utilizó un motor más pequeño, un NEMA 8, para achicar aún más el diseño (unas 5 veces). De esta forma este soporte permite utilizarse fácilmente en ambos ejes, y no solo eso, se encontró que el tambor de plástico funciona correctamente para perfilar la señal.

3.2. Polarímetro

El diseño mecánico del polarímetro consistió en lo que se observa en la figura. La electrónica de adquisición es exactamente igual a la del perfilador, solo que se considera un movimiento a menor velocidad y una adquisición paso a paso

Nuevamente, se utilizó un motor paso a paso NEMA 8, que permite crear un sistema de dimensiones pequeñas. Los engranajes están hechos para que la transmisión sea 1:2, por lo que un paso es del motor son dos pasos del engranaje, generando una precisión de $0,9^\circ$ (ya que el motor NEMA usado es de 200 pasos o $1,8^\circ$).

El soporte, como los engranajes fueron impresos en plástico (fuera de la facultad por problemas en la impresora del departamento).

3.3. Electrónica de adquisición

Como se mencionó recién, al ajustar la señal del perfilador con la función error se observa un desajuste importante en la zona cercana a la desobturación. Para poder clasificar este problema se midió la corriente en inversa del fotodiodo con un amplificador de corriente Stanford SR750, y se encontró que este error desaparecía.

De esta forma se pasa a agregarle un amplificador de transimpedancia, que amplifica corriente en tensión. Este amplificador mejora el ajuste, pero a su vez aumenta el ruido de la señal. La calibración del amplificador, construido con un LM358 con fuente simple, fue hecha con una señal escalón (para la respuesta en frecuencia) y con una señal rampa (para determinar el rango lineal).

La respuesta en frecuencia acusa un skew rate de $0,4V \mu s^{-1}$, que es 4 veces más grande de la necesaria, pero la respuesta lineal es suficiente amplio para la aplicación, aunque se demuestra que no se puede acusar corriente nula (aunque el ruido térmico o la señal de fondo luminica generará corriente necesaria para que esto no genere inconvenientes)

3.3.1. Generación de sensores portátiles

Además del amplificador se cambió el microcontrolador utilizado. El uC de la electronica de adquisición se denomina Photon (de Particle.io), que tiene las siguiente propiedades

- ARM Cortex M3 120MHz, 128KiB RAM y 1MiB FLASH. Con stack WiFi
- Programación en la nube, permite programar muchos integrados al mismo tiempo
- API de programación más poderosa. C++ por defecto

El software de adquisición, mientras, fue hecho en Python con una interfaz de usuario gráfica, con miras de ser portable y de fácil utilización. El software tiene un algoritmo propio para generar el ajuste en el perfilador y obtener información del perfil.

3.3.2. Resultados con este uC/Software

Con este microcontrolador y con el software se solventó la mayoría de los problemas del sistema anterior, como ser

- Se pudo mover el motor hasta 30RPS, más de la velocidad de tiempo real.
- Adquisición de datos (del uC) cada $10\mu s$ o 100ksps. Más de lo necesario
- Conexión TCP ya resuelta. Entre peticiones, se tarda 0,1s en obtener 4000 datos, que corresponden a 20 vueltas. La velocidad de adquisición la determina el motor ahora mismo

4. Mediciones

4.0.3. Mediciones con el perfilador

Calibración del instrumento, medición del colimador F280FC del SPIM. Se midió al inicio y al final del riel, para observar divergencias

- Inicio del riel:
 $\sigma = (3,03 \pm 0,15) \text{ mm}$
- Fin del riel:
 $\sigma = (3,02 \pm 0,18) \text{ mm}$

Colimador efectivamente colima el haz.

Luego se midió de forma manual el haz, por medio de una hoja filosa y un tornillo micrométrico, y se obtuvo lo que se ve en la figura.

De esta forma se puede adivinar que el perfilador tiene la misma precisión que el método manual, de alrededor de un 5 %, y además el sistema es exacto en su medición.

Finalmente se hizo una medición extra en el telescopio del SPIM para poder observar la divergencia del haz. En la figura se puede observar una diferencia apreciable entre de diferente plano de obturación, lo que demuestra que la divergencia del haz es medible.

Nos queda poder utilizar el perfilador para determinar las propiedades de la lente cilíndrica del SPIM.

4.1. Mediciones con el polarimetro

Para poder medir con el polarimetro, primero es necesario calibrar el material polarizador. Para eso se construyó dos láminas rotantes y se midió la intensidad de un haz linealmente polarizado atravezando ambas láminas alineadas (en el máximo y minimo de intensidad). Se encontró que la matriz de transmisión es la siguiente

$$\begin{pmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 2 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

hecho que marca al material polarizador lejos del ideal, ya que elimina el 50 % de la señal en el máximo y no elimina toda la polarización del haz, pero suficiente para hacer una medición cualitativa de la polarización. Para mejorar el sistema se debe utilizar un polarizador con mejores parámetros.

Finalmente, se midió la polarización del laser más utilizado en el SPIM, modelo DHOM-M-473-150mW (que es azul en $\lambda = 473\text{nm}$), sacando un reflejo del haz antes de la fibra y el haz después de la fibra. Además se agrega el resultado del cociente para determinar la *calidad de polarización lineal*.

Como se ve la polarización es casi lineal en ambos casos, pero lo más importante es que polarización se mantienen. Este análisis se hizo para varias potencias del haz, pero lamentablemente el polarizador deja de funcionar correctamente.

El setup también dispone de un láser rojo y un laser verde. El laser rojo se encontró que no mantiene polarización, ya que antes de la fibra el cociente es de $(0,94 \pm 0,32)$ y $(0,39 \pm 0,15)$, pero se volverán a medir, pero el laser verde tiene fluctuaciones de potencia por lo que no es muy útil para esta medición.

5. Conclusiones

Del polarizador

- El perfilador mide exitosamente el haz, con un error del 5%, comparable con la medición manual
- Se pudo caracterizar el haz a salir de la fibra y en el telescopio correctamente
- El perfilador fue capaz de medir la divergencia con solo un set de mediciones.
- Para medir la salida del telescopio habrá que diseñar un perfilador más compacto.

Del polarimetro

- La lámina polarizadora utilizada está lejos de ser un polarizador perfecto, pero es funcional a la aplicación
- Se midió la polarización antes de acoplar en fibra y después de acoplar en fibra y no se observó cambio de polarización, para el láser azul.
- Se repitiran las mediciones para asegurar el resultado
- Esta medición es de importancia fundamental para medir anisotropía de flouoroforos en el SPIM

6. Proyecto SOMA

- Plataforma abierta de instrumental opto-mecánico
- Diseño con énfasis en la reproducibilidad, con tecnología de impresora 3D o mecanizado automático.
- Electrónica libre, controlada por software creado con tecnologías libres.

Página del proyecto: <http://lec.df.uba.ar/soma>