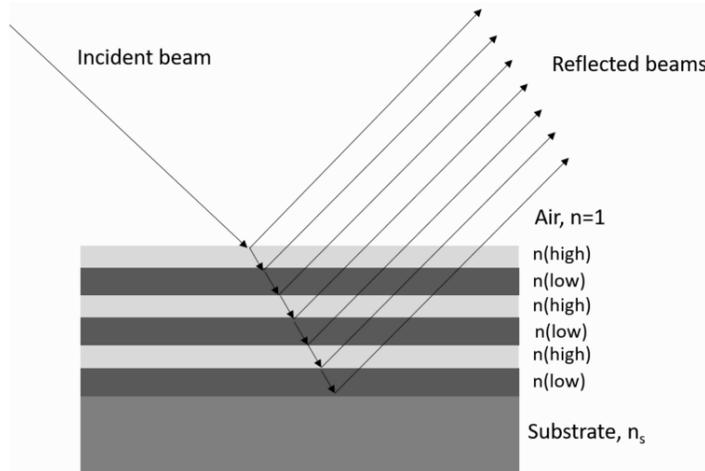


# Óptica no lineal y ultra-rápida

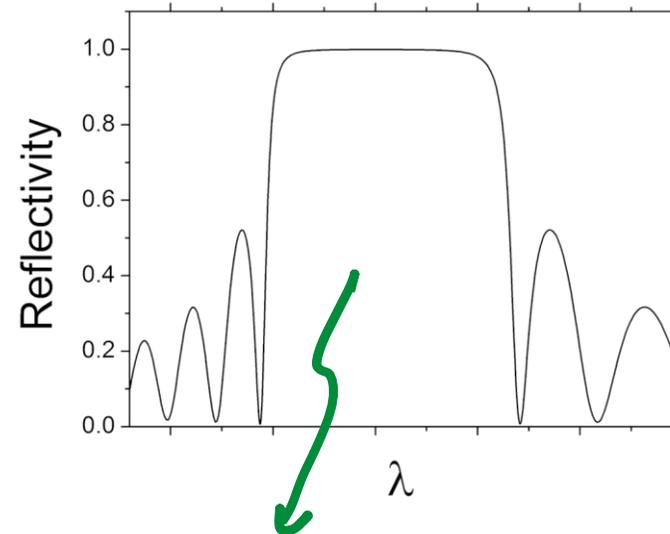
## Clase 15

# Chirped mirrors (espejos con GDD negativa)

## Espejo de Bragg (DBR)



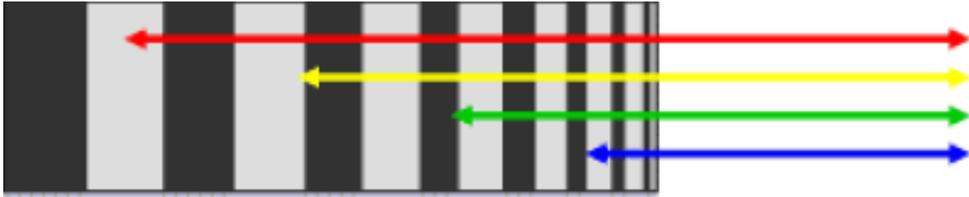
Esto sucede cuando el espesor de las capas del Espejo se elige igual a  $\frac{\lambda}{4}$  (en el caso del dibujo corregido por el ángulo)



Región en donde la transmisión está fuertemente suprimida

## Chirped mirrors (espejos con GDD negativa)

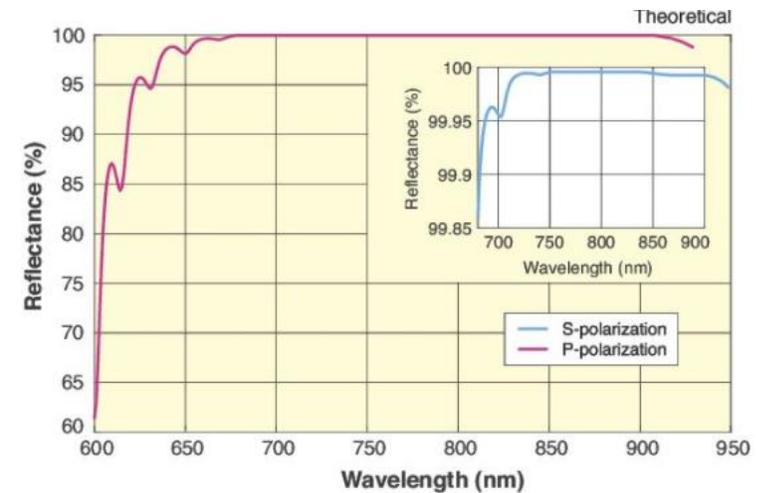
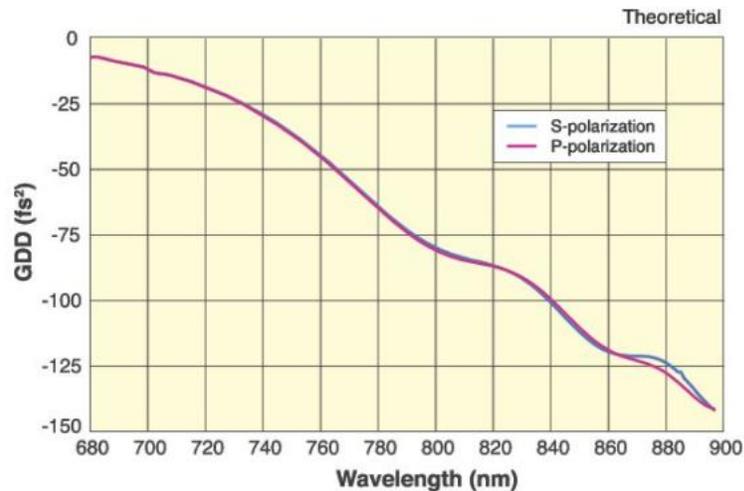
Los *chirped mirrors* son espejos que están contruidos para tener una reflectividad



$$r(\omega) = |r(\omega)| e^{i\phi(\omega)} \quad (15.1)$$

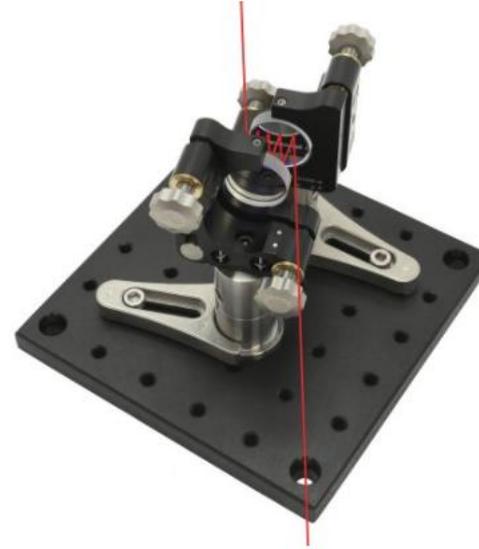
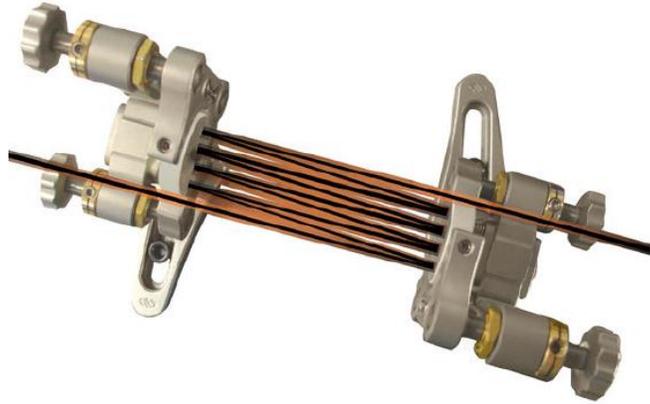


La idea básica es tener espejos de Bragg que varíen el espaciado a lo largo de la estructura de manera que las diferentes longitudes de onda penetren distintas distancias y entonces acumulen diferentes dispersiones de grupo. En particular que las longitudes de onda mayores penetren mas de manera de obtener un mayor retardo y por ende una dispersión anómala con  $GDD < 0$



## Chirped mirrors (espejos con GDD negativa)

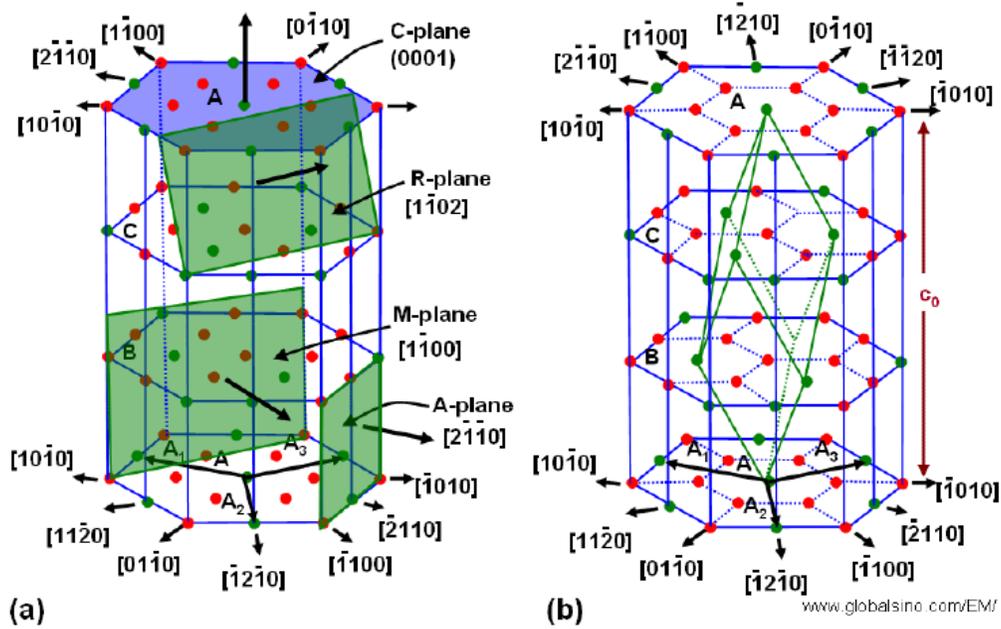
---



- ✓ Se pueden usar de a pares y se hacen reflejar tantas veces como compensación se necesite para el pulso de entrada que se tenga
- ✓ También se usan de a pares complementarios (corridos medio período uno del otro) para cancelar las oscilaciones de la GDD inherentes por la fabricación, por interferencia con la reflexión en la primera cara de alto contraste de índice con el aire (también hay otras estrategias)
- ✓ Hoy en día los llamados “espejos dispersivos” se diseñan con la ayuda de algoritmos mas o menos poderosos y pueden tener varias docenas y aun cientos de capas dieléctricas.

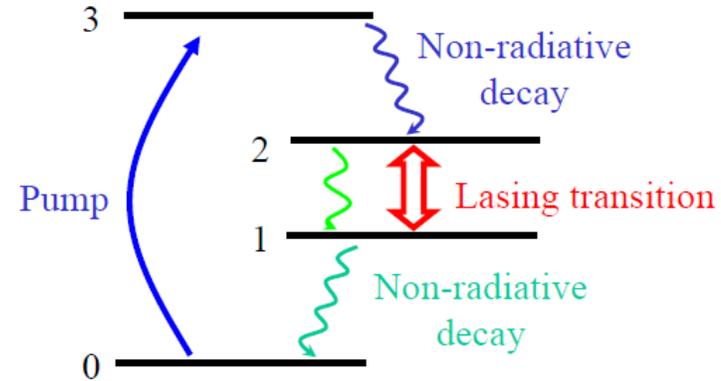
# El láser de Titanio Zafiro. $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$

## Ti:sapphire - the femtosecond workhorse



crystal structure of sapphire,  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Tiempo de vida del nivel excitado:  $\tau_{21} = 3.2\mu\text{s}$

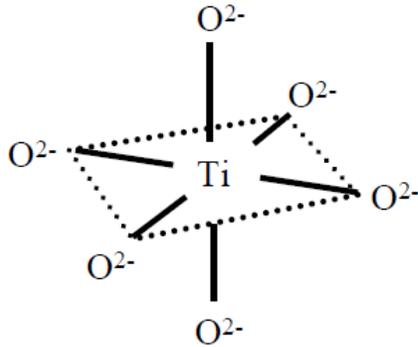


Ti:sapphire: replace a fraction of the Al atoms by Ti. 2

Está dentro del tipo de láseres de estado sólido con iones activadores. Se inserta un ion dopante Ti en la matriz de Zafiro, y la transición láser se da entre estados de electrones ligados del ion dopante fijo en la matriz.

## El láser de Titanio Zafiro. $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$

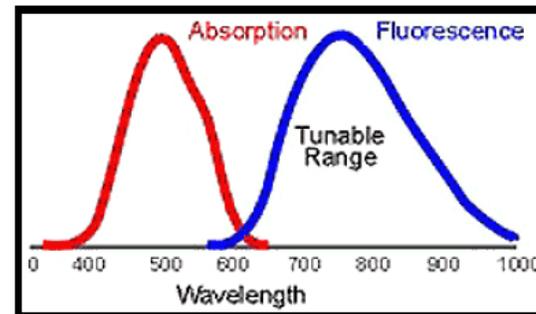
Los iones de  $\text{Ti}^{3+}$  reemplazan en un  $\sim 0.1\%$  los iones de  $\text{Al}^{3+}$  en la red del zafiro. Los  $\text{Ti}^{3+}$  se sitúan en el centro de un octaedro con seis átomos  $\text{O}^{2-}$  alrededor cada uno en un vértice.



La estructura electrónica del ion  $\text{Ti}^{3+}$  es una capa cerrada más un electrón en el orbital 3d



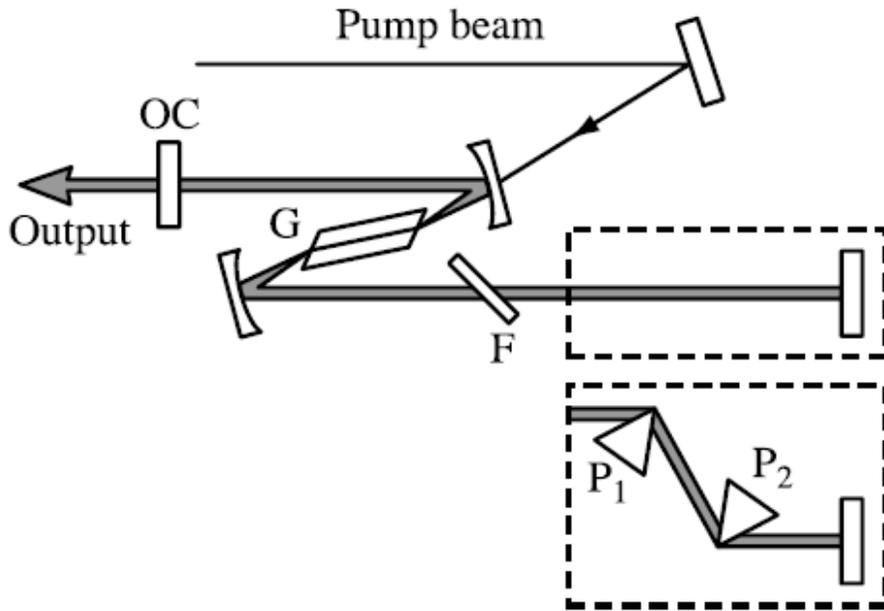
Los niveles degenerados d se separan en 10 estados debido al campo del cristal



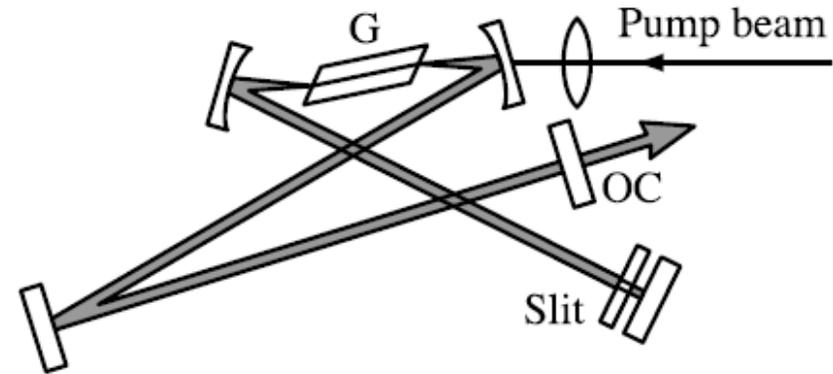
Gran sintonizabilidad  
650nm to 1180 nm

Estos iones de metales de transición (como otros del grupo del hierro:  $\text{Ti}^{3+}$ ,  $\text{V}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{4+}$ ,  $\text{Mn}^{5+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{3+}$ ) están expuestos a una gran influencia de la matriz que lleva a un ensanchamiento de las bandas de absorción y emisión, y también a una dependencia con la temperatura. Por otro lado la matriz de Zafiro tiene una excelente conductividad térmica lo que hace que se pueda operar a altas potencias.

## El láser de Titanio Zafiro. $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$



Cavidad en z con compensación por prismas

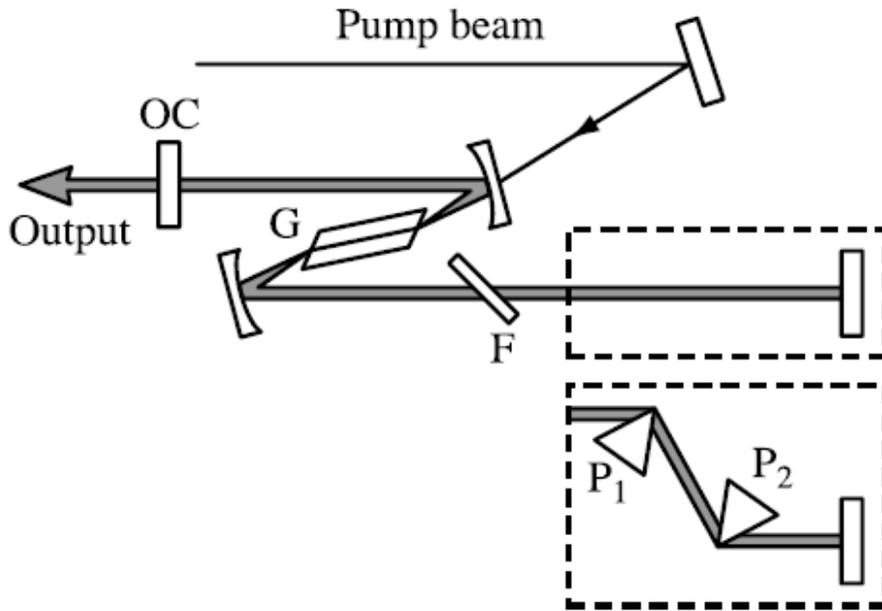


Cavidad en x con compensación por *chirped mirrors*

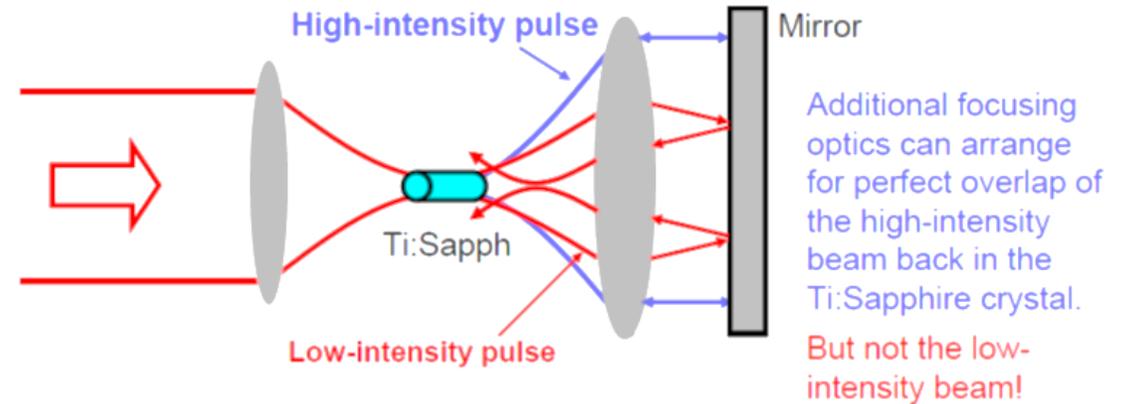
Puede generar pulsos de menos de 10 fs con una potencia media de más de 500 mW y repetición de cientos de MHz. El bombeo se realiza con un láser sólido de alta potencia en el verde. El ancho de banda de emisión de  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ , que alcanza los 200 nm, permite, en principio, que la duración del pulso sea tan corta como 3-4 fs, si es posible aprovechar todo el ancho de ganancia.

Funciona con el efecto de lente Kerr (KLM, *Kerr lens mode locking*). La idea básica como vimos, es que las pérdidas se minimizan cuando la intensidad es alta. Es necesario compensar los efectos de distorsión de fase, que se consigue con los prismas dentro de la cavidad o los chirped mirrors con los cuales ya en los 2000 se obtuvieron pulsos de 5fs.

## El láser de Titanio Zafiro. $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$



Cavidad en z con compensación por prismas



KLM, *Kerr lens mode locking*

Puede generar pulsos de menos de 10 fs con una potencia media de más de 500 mW y repetición de cientos de MHz. El bombeo se realiza con un láser sólido de alta potencia en el verde. El ancho de banda de emisión de  $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ , que alcanza los 200 nm, permite, en principio, que la duración del pulso sea tan corta como 3-4 fs, si es posible aprovechar todo el ancho de ganancia.

Funciona con el efecto de lente Kerr (KLM, *Kerr lens mode locking*). La idea básica como vimos, es que las pérdidas se minimizan cuando la intensidad es alta. Es necesario compensar los efectos de distorsión de fase, que se consigue con los prismas dentro de la cavidad o los chirped mirrors con los cuales ya en los 2000 se obtuvieron pulsos de 5fs.

## El láser de Titanio Zafiro. $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$

- ✓ Para pulsos no muy cortos ( $>50\text{fs}$ ) generalmente es suficiente compensar la dispersión de 2do orden (GDD) e ignorar las de tercero y superior. Para pulsos mas cortos, es esencial compensar estos últimos.

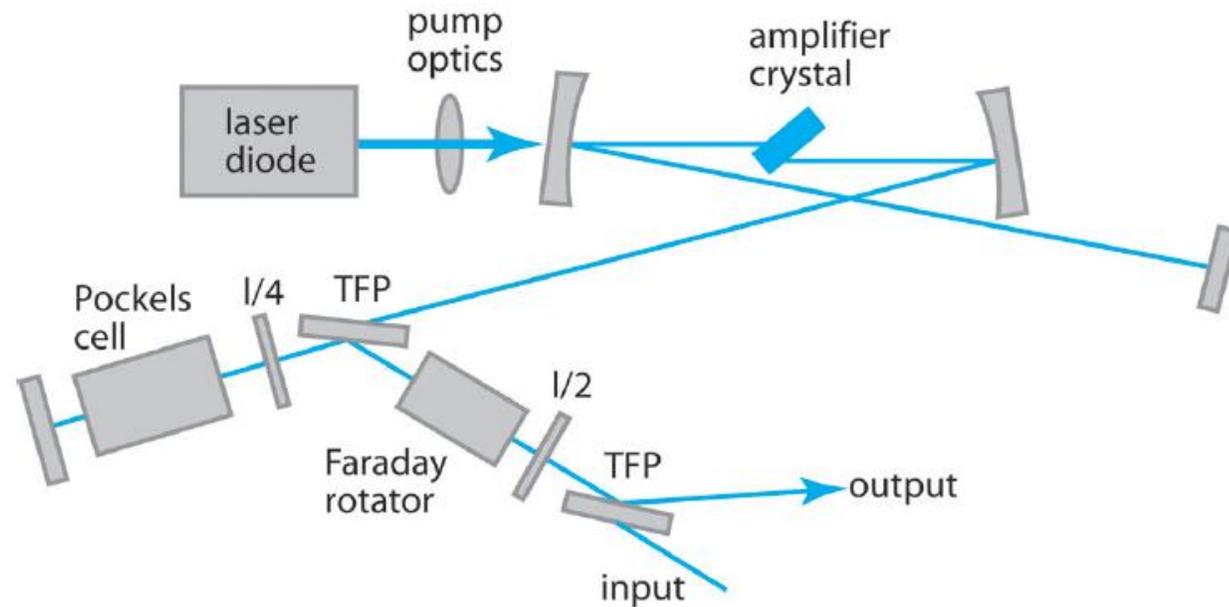
Material	Nonlinear index
Fused silica	$2.7 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ at $1 \mu\text{m}$
Sapphire	$3 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ at $0.8 \mu\text{m}$
YAG	$8 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ at $1 \mu\text{m}$
$\text{KY}(\text{WO}_4)_2$	$8.7 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$ at $1 \mu\text{m}$
GaAs	$-4 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{W}$ at $1 \mu\text{m}$

- ✓ En el mode locking pasivo, inicialmente el laseo puede ocurrir en CW. Luego, el absorbente saturable favorece algunas fluctuaciones aleatorias para las cuales la potencia óptica circulante sea mayor, y que luego de varios pasajes en la cavidad se vuelvan mas potentes. Por ultimo las fluctuaciones saturan la ganancia al nivel en que es menor que las perdidas en las otras intensidades menores en el resonador.
- ✓ El autoarranque puede ser cancelado por las reflexiones parasitas que circulan dentro de la cavidad. Por esta razón cualquier superficie dentro de la cavidad no debe estar perpendicular al laser, excepto por supuesto el espejo de salida, aun si tienen recubrimiento antireflectante. También se deben evitar las reflexiones que reentran dentro del resonador.
- ✓ Si el autoarranque del mode locking no sucede, puede ser necesario golpear suavemente algún elemento de la cavidad. Esa fluctuación puede iniciar la formación del pulso.

## Amplificadores de pulsos de fs

Muchas de las aplicaciones de los láseres de fs está relacionadas con la óptica no lineal, y en particular aquellas que tienen que ver con tener mucha sintonizabilidad como los OPA y OPO  $\Rightarrow$  necesitamos amplificar

Para tener una idea, para poder generar un supercontinuo necesitamos pasar al menos de energías por pulso de nJ a  $\mu$ J



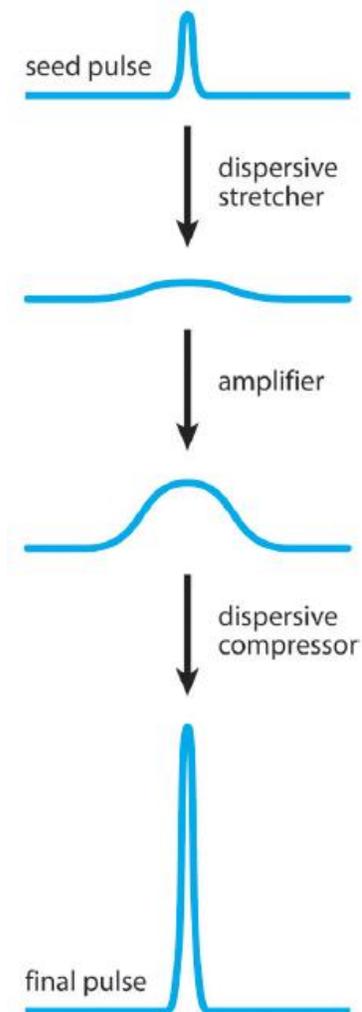
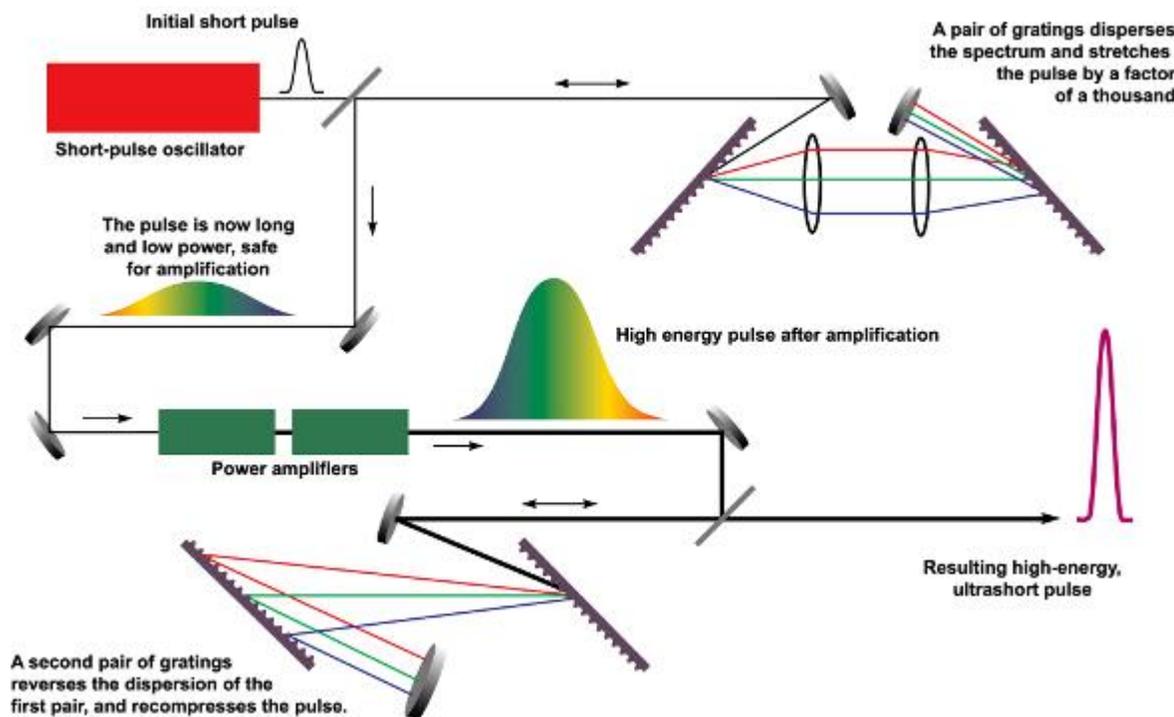
### Amplificador regenerativo

Es una amplificación mutipasaje, poniendo un medio de ganancia en un resonador óptico que contiene algún mecanismo de conmutación. Un pulso semilla “seed” de baja energía de algún laser mode- locked se inyecta y se amplifica en los múltiples pasajes dentro del resonador. Luego que el pulso acumuló suficiente de la energía guardada en el medio de ganancia, se extrae con el modulador (pockels cell)

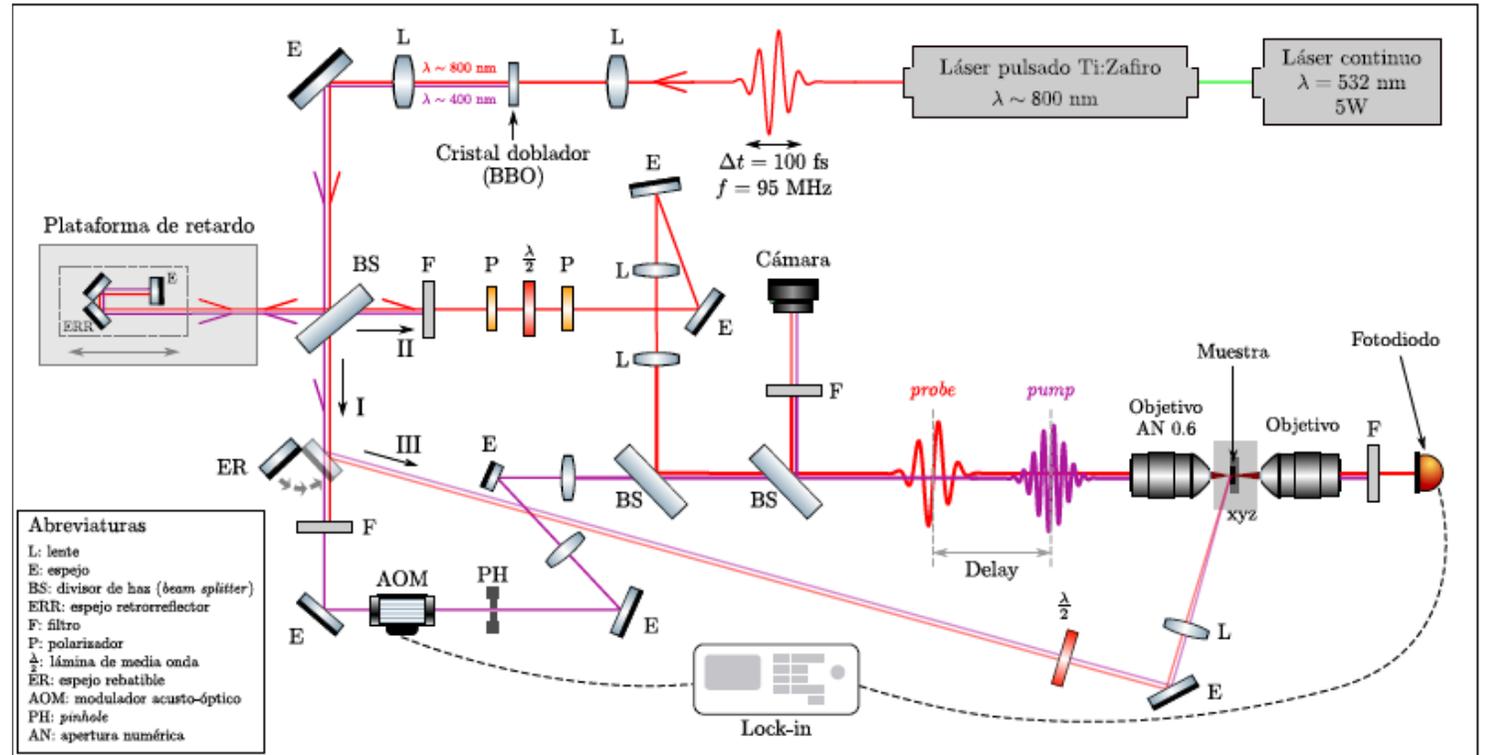
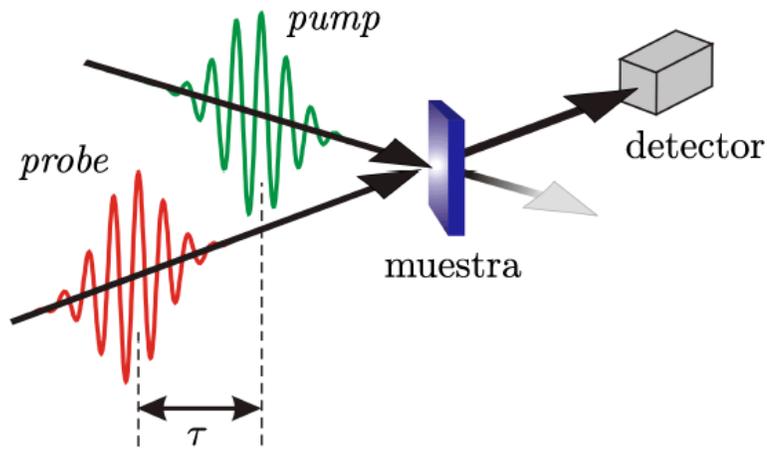
# Chirped pulse amplification (CPA)

## CPA

Para pulsos ultracortos de energía alta de mas de 1mJ, la potencia pico es muy alta, y aun usando radios grandes del haz, las intensidades altísimas generan no linealidades muy pronunciadas y daño. Una técnica muy usada es la de CPA (Strickland and Mourou, 1995)



# Técnica de pump-probe



## Videos interesantes

---

pump probe technique

<https://www.youtube.com/watch?v=YTj4Hi1HdJQ&feature=youtu.be>

CNRS

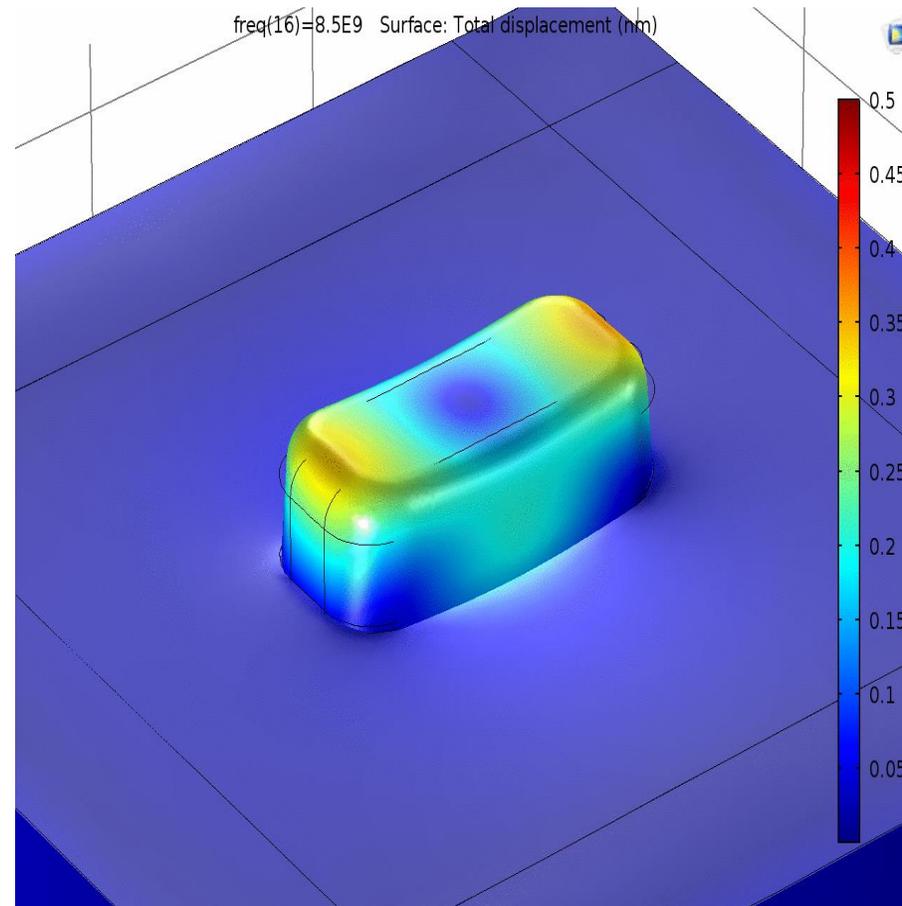
Femtosecond Pump Probe Spectrometer

<https://www.youtube.com/watch?v=mdNr6eVBJqk&feature=youtu.be>

Georgia tech

# Fonones coherentes

---



# Fonones coherentes

