

Nota: en el apéndice B del libro de Powers están las expresiones fenomenológicas (ecuaciones de Sellmeier) para los índices de refracción en función de la longitud de onda para los cristales más usados. Está subido también en Material adicional de la página de la materia.

1. Describa cómo obtiene un *phase matching* tipo II para la SHG, usando un único haz linealmente polarizado y sin utilizar ningún *beam splitter*.
2. Usando las expresiones de intensidad de SHG en el caso en que no se considera agotamiento de la potencia del haz de entrada, resuelva lo siguiente:
  - a) encuentre una expresión para la eficiencia de conversión de segunda armónica,  $\eta = \frac{I(2\omega)}{I(\omega)}$ , y gráfiquela en función de  $z / l_c$ , donde  $l_c$  es la longitud de coherencia definida en clase, para condición de *phase matching* y de  $\Delta \vec{k} \neq 0$ .
  - b) Calcule la eficiencia para el caso de un cristal KDP de 5cm de longitud L en condición de *phase matching* tipo I, para un haz incidente de potencia de entrada 1W y longitud de onda 1064nm, con un tamaño de haz de 0.2 mm.
  - c) Qué potencia se requiere en el caso a) para tener una eficiencia del 85%?
  - d) Considerando ahora que hay agotamiento del haz de entrada calcule la eficiencia con los datos de b) (considere que en este caso  $\eta = \frac{I(2\omega, L)}{I(\omega, 0)}$ )

3. En el final de la clase 3 vimos que en la propagación de la onda extraordinaria  $\vec{k} \nparallel \vec{S}$  y por lo tanto existe un ángulo entre la dirección del frente de ondas y la del flujo de energía. Puede demostrarse que el ángulo entre estos dos vectores, llamado ángulo de *walk off* es:

$$\rho(\theta) = \pm [\tan^{-1}\{(n_o / n_e)^2 \tan \theta\} - \theta]$$

Siendo  $\theta$  el ángulo entre la dirección de  $\vec{k}$  y el eje óptico y donde + (-) se aplica a un cristal uniaxial negativo (positivo) y que el vector de Poynting se aleja (acerca) al eje óptico.

- a) Comente qué implicaciones puede tener este efecto en la generación de segunda armónica con un cristal uniaxial
- b) Grafique el índice de refracción extraordinario  $n_e(\theta)$  y el ángulo de *walk off* (en grados) para la segunda armónica como función de la orientación del cristal ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) para un cristal BBO sobre el que incide una onda a 1064nm.
- c) Considere una condición de *phase matching* tipo I para la SHG con el cristal de BBO. ¿Cuánto es el ángulo de *walk off*? Si el diámetro del haz de incidencia es  $D$ , determine la distancia dentro del cristal para la que los haces están totalmente desplazados uno del otro (considere esa situación cuando los centros de los haces están separados por un diámetro  $D$ ). Si el cristal tiene 2cm de largo, cual es el diámetro del haz necesario para que se use todo el largo del cristal en la generación de segunda armónica.

Datos del cristal BBO, uniaxial negativo:  $n_o = 1.6742$  y  $n_e = 1.5547$  a 532nm,  $n_o = 1.6545$  y  $n_e = 1.5392$  a 1064nm

4. Mostrar que bajo condiciones de casi *phase matching* comentadas al final de la clase 5, la amplitud del campo de segunda armónica a lo largo de la segunda longitud de coherencia es

$$E(2\omega, z) = E_{CL} \sqrt{\frac{1}{2} (5 - 3 \cos\{\Delta k(z - l_c) / 2\})}$$

Donde  $E_{CL}$  es el campo después de una longitud de coherencia,  $l_C$ .

5. A partir de las ecuaciones acopladas para el proceso de mezcla de 3 ondas, demuestre las ecuaciones de Manley-Rowe:

$$\frac{d}{dz} \left( \frac{I_1}{\omega_1} \right) = \frac{d}{dz} \left( \frac{I_2}{\omega_2} \right) = - \frac{d}{dz} \left( \frac{I_3}{\omega_3} \right)$$

con  $I_i = 2n_i \epsilon_0 c A_i A_i^* \quad i = 1,2,3$

e interprete el resultado

Ayuda: sección 2.5 del Boyd

6. a) Resuelva las ecuaciones acopladas para la suma de frecuencias (SFG),  $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ , asumiendo que la amplitud  $A_2$  del campo a frecuencia  $\omega_2$  no se ve afectado por la interacción (ausencia de agotamiento) y en condición de *phase matching* perfecto. Muestre que la solución es oscilatoria.

b) Grafique esquemáticamente las intensidades  $|A_3|^2$  y  $|A_1|^2$  en función de  $z$

7. Un amplificador óptico paramétrico (OPA) está operando con la configuración de la figura. Suponga que la longitud de onda "input" es de 800nm.

a) ¿Cuál de los dos cristales BBO está fijo en un ángulo y cual se rota para sintonizar? ¿Cuál es la longitud de onda del *pump*?

b) ¿Qué papel cumple la luz blanca que se genera después del cristal de zafiro?

c) Si sintonizando el cristal BBO se obtiene una longitud de onda de la señal en 530 nm, ¿cuál es la longitud de onda del *idler*? ¿Cuál es la energía en eV de la señal, el *idler* y el *pump*?

