

Láseres de Estado Sólido

PAMELA BRAVO CASSAB

PROFESOR DR. CARLOS GERARDO TREVIÑO PALACIOS

CURSO DE LÁSERES.

MAYO 2023

Contenido

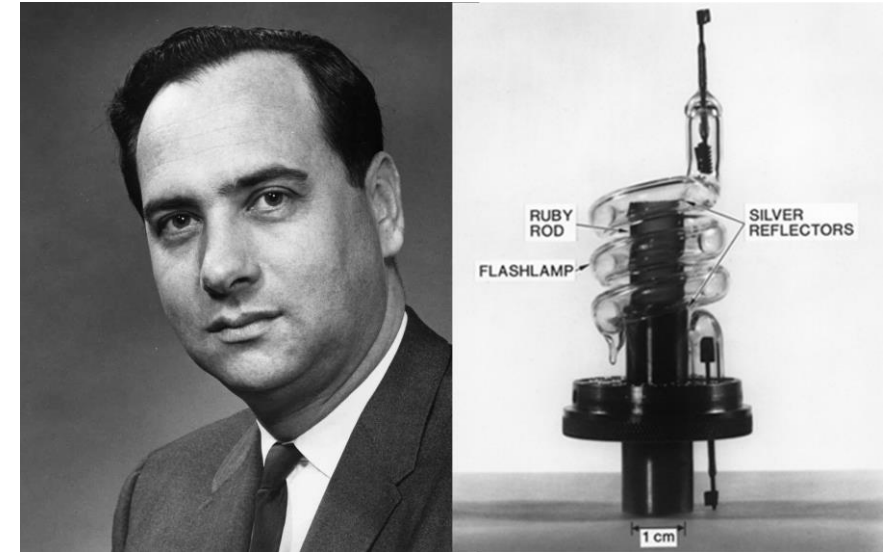
1. Introducción.
2. Propiedades de materiales de estado solido.
 - I. Materiales anfitriones.
 - II. Iones dopantes.
3. Bombeo óptico.
4. Ejemplos específicos.
 - I. Rubí
 - II. Nd:YAG
5. Referencias.

Introducción

Los láseres de estado sólido tienen aplicaciones industriales, militares y de investigación.

- La primera demostración de actividad laser hecha por Maiman fue lograda en 1960 usando rubí, un sistema cristalino sólido.
- El siguiente paso en el desarrollo de láseres de estado sólido fue la operación de uranio trivalente en CaF_2 y samario divalente en CaF_2 por Sorokin y Stevenson, también en 1960.
- En 1961, Snitzer demostró actividad laser en vidrio dopado con neodimio.
- El primer laser continuo operando con cristal fue reportado en 1961 por Johnson y Nassau usando $\text{Nd}^{3+}:\text{CaWO}_4$.
- Desde entonces actividad laser ha sido lograda usando otras tierras raras trivalentes y divalentes, así como metales de transición.

Actividad laser por bombeo óptico se ha demostrado en más de 100 combinaciones de cristales ion-anfitrión cubriendo un rango de longitudes de onda desde $0.55 \mu\text{m}$ a $2.69 \mu\text{m}$.



Propiedades de materiales de estado sólido.

Materiales para operación laser deben poseer **líneas fluorescentes finas, bandas de absorción fuerte y una razonablemente alta eficiencia cuántica** para las transiciones fluorescentes de interés. Estas características suelen aparecer en sólidos (cristales o vidrio).

Los materiales dieléctricos laser de estado-sólido suelen consistir de **especies iónicas** crecidas o dopadas dentro de un material anfitrión en concentraciones que van de 0.1 a 10%.

El **material anfitrión** se comporta como una matriz que suspende los iones laser, los aísla y “congela” en posiciones espaciales reguladas, de manera que los iones están aproximadamente equidistantes unos de otros.

En materiales laser sólidos dieléctricos, las especies laser (dopantes) son seleccionadas y manufacturadas o “crecidas” para tener propiedades específicas:

- Tiempo de vida largos de los niveles superiores
- Forma de la línea específicas (anchas o delgadas)

Dependiendo de la aplicación deseada.

Materiales anfitrión.

- Cristalinos
- Vidrios.

Propiedades deseables:

- Dureza
- Ser químicamente inerte.
- Ausencia de tensiones internas y variaciones de índice de refracción.
- Fácil fabricación.

Ejemplos:

- Óxidos (*zafiro, granate, aluminato*)
- Fosfatos y silicatos.
- Cerámicas.

El anfitrión debe poseer buenas propiedades ópticas así como buenas propiedades mecánicas y térmicas.

Pobres propiedades ópticas: variación del índice de refracción, impurezas, etc.

Pobres propiedades mecánicas y térmicas llevan la deformación del material o fractura del anfitrión.

El anfitrión debe también ser capaz de aceptar el material dopante de manera que no distorsione las propiedades deseadas del dopante.

También debe ser capaz de ser crecido con una distribución uniforme del dopante.

Especies Laser- Iones dopantes.

Las especies laser son iones específicos implantados como dopantes dentro del anfitrión sólido, estos son escogidos para obtener los tiempos de vida deseados así como otras propiedades de laser.

Iones dopantes pueden ser caracterizados como:

- Iones de tierras raras
 - Neodimio (Nd^{3+})
 - Erblio (Er^{3+})
 - Holmio (Ho^{3+})
 - Tulio (Tm^{3+})
- Metales de transición
 - Cromo (Cr^{3+})
 - Titanio (Ti^{3+})
- Iones actínidos.
 - Solamente uranio en CaF_2

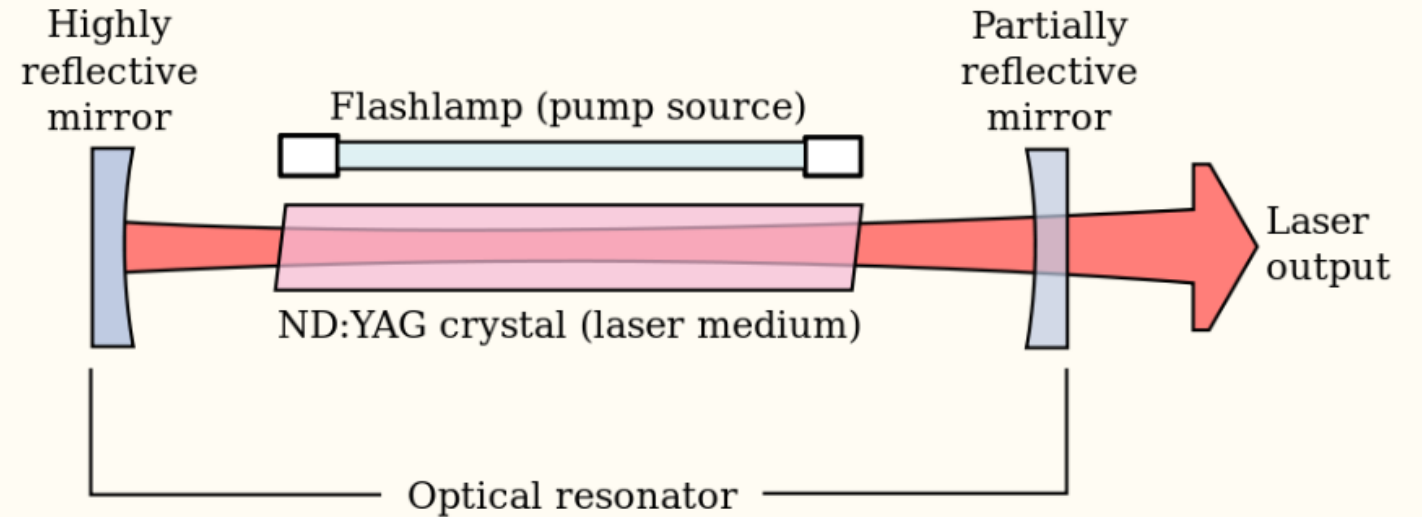
Bombeo óptico.

El amplio espectro de absorción de los sólidos permite el bombeo del medio activo con una **fente de luz con amplio espectro de emisión** (lámparas de flash, lámparas incandescentes, etc.). También son bombeados por **láseres de diodo**.

El haz bombeado normalmente entra en el medio activo a través del área superficial a lo largo de la barra, mientras que la radiación láser se emite a lo largo de los extremos de la barra.

Los extremos de la barra habitualmente están en ángulo recto con el eje de la barra, y están pulidos ópticamente.

Nd:YAG solid-state laser



Los láseres de estado sólido emiten radiación tanto en modo pulsado como en modo continuo.

Las lámparas de bombeo para láseres pulsados son normalmente lámparas de flash de Xenon (o Kriptón)

Láser de Ruby

Propiedades físicas:

Consiste de un metal de transición crómico en la forma de iones Cr^{3+} dopados en un cristal zafiro anfitrión (Al_2O_3). Concentración del orden de 1%.

Cristal:

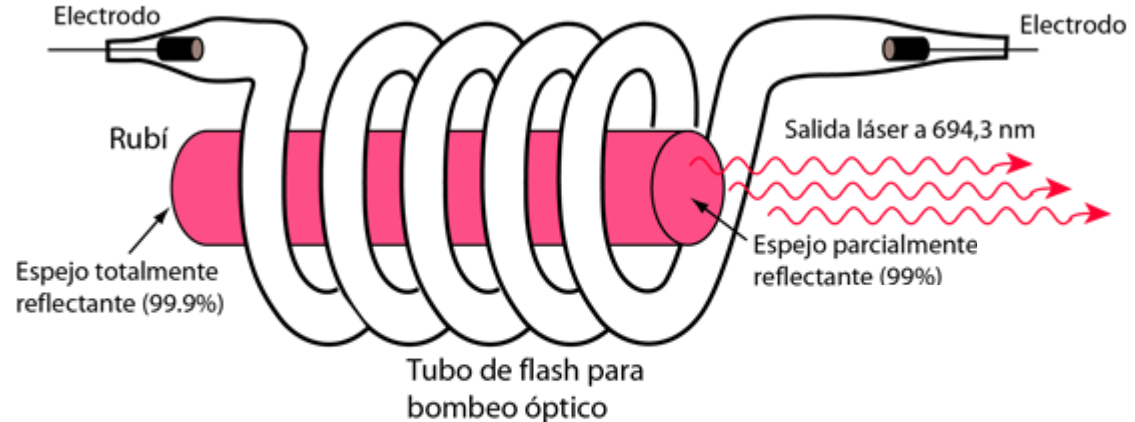
- Uniaxial
- Material refractor, duro y durable.
- Buen conductor.
- Químicamente estable.
- Capaz de ser crecido con una alta calidad.

Sistema de 3 niveles.

Salida láser en el rango visible: 694.3 nm

Propiedades espectroscópicas:

- Forma de línea delgada.
- Tiempos de vida fluorescentes largos.
- Bandas de absorción anchas
 - Permite el uso de lámparas flash con espectro de emisión ancho como bombeo.



Propiedades láser:

- Actividad laser ocurre únicamente en la línea R_1 , es decir, entre los niveles \bar{E} y 4A_2
- La línea R_1 alcanza umbral laser antes que la línea R_2 .
- Tiempo de relajación entre los niveles $2\bar{A}$ y \bar{E} es muy corto, del orden de nanosegundos o menos.

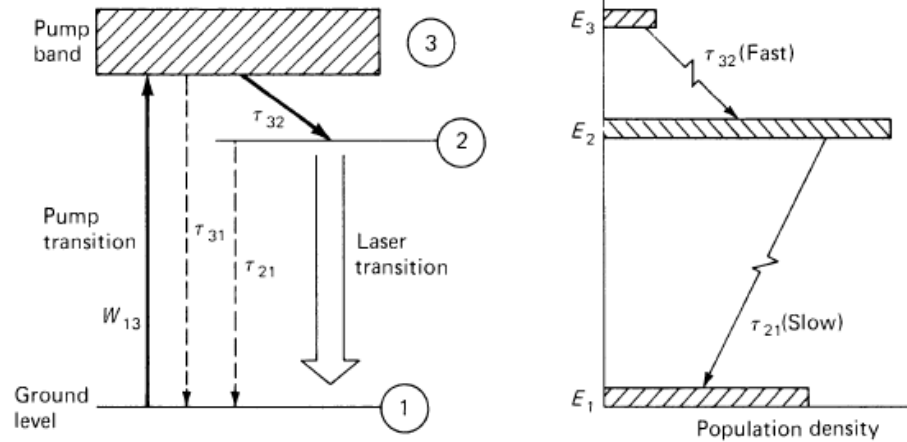


Figure 1.6 Simplified energy level diagram of a three-level laser.

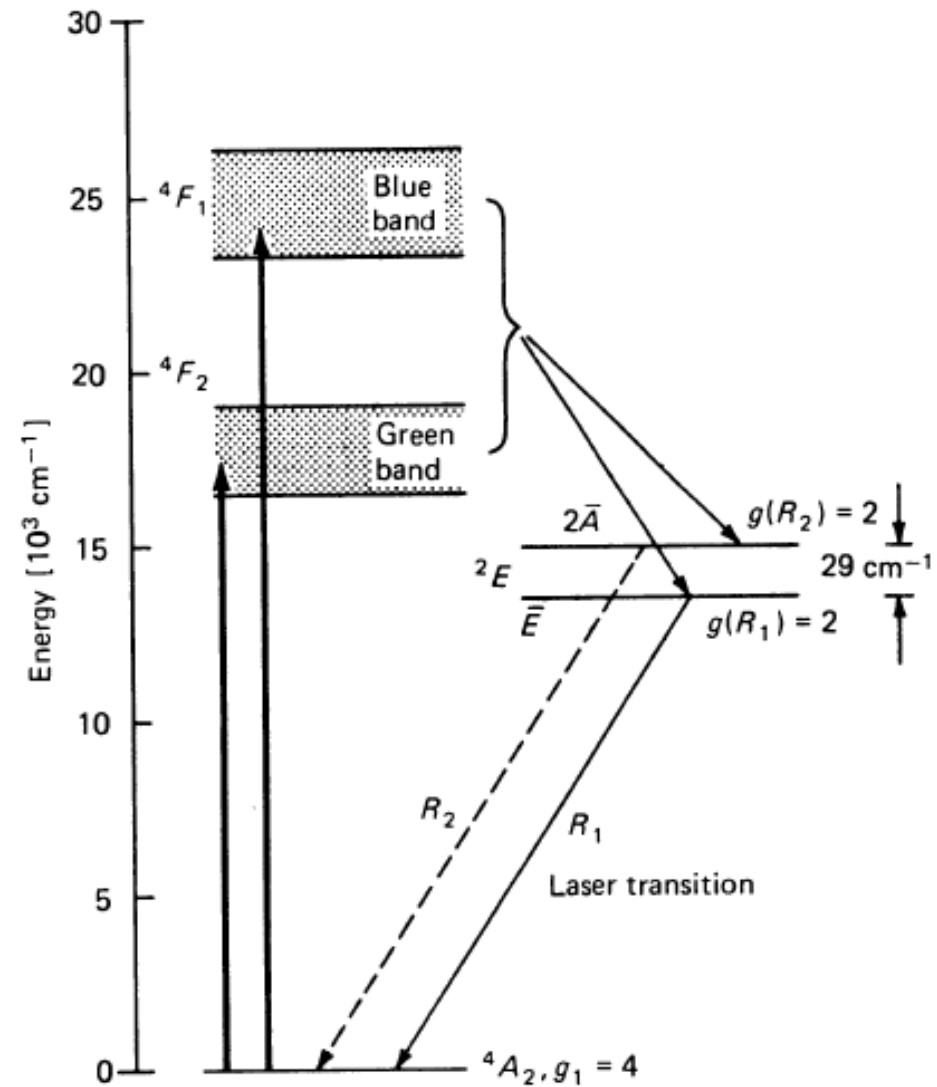


Figure 2.2 Important energy levels of Cr^{3+} in ruby (separation of $2E$ levels not to scale).

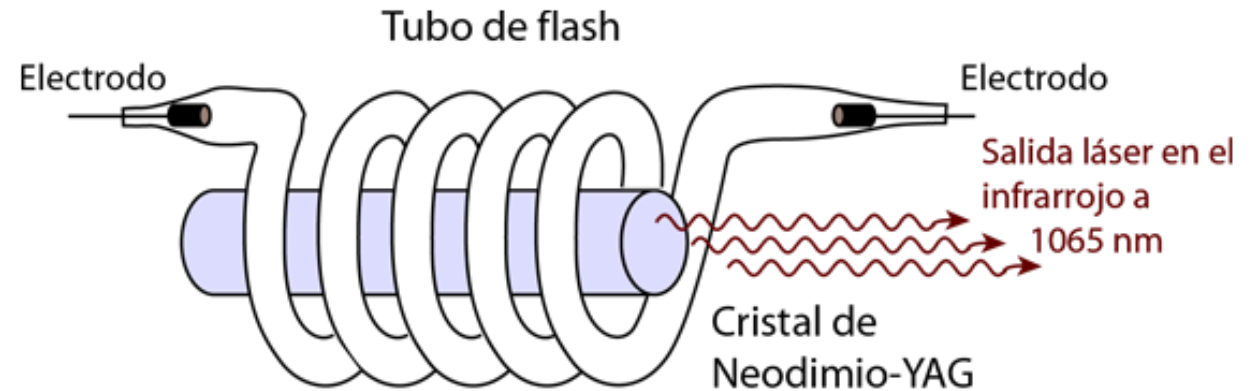
Láser de Nd:YAG

Propiedades físicas:

Consiste en iones tierra rara Nd^{3+} dopados en diferentes materiales anfitriones.

- Mas comunes: YAG o vidrio.
 - Concentración para YAG de 1.0-1.5%
-
- Estructura YAG es estable para temperaturas bajas hasta para punto de derretimiento.
 - Su dureza y resistencia son menores al rubí pero lo suficientes para que durante su fabricación no se produzcan serios problemas de quiebre.
 - Limitados a barras pequeñas del orden de 1cm en diámetro y longitudes del orden de 10cm.

- Sistema de 4 niveles.
- Es el tipo de laser de estado solido mas comúnmente usado.
- Salida láser en el infrarrojo: $1.064 \mu m$.
- Estructura cubica del YAG favorece una forma de línea fluorescencia delgada.
 - Permite:
Alta ganancia y umbral para actividad láser bajo.



Propiedades láser:

- Transición láser de $R_2 \quad {}^4 F_{3/2}$ a $Y_3 \quad {}^4 I_{11/12}$
- A temperatura ambiente:
- 40% de la población ${}^4 F_{3/2}$ esta en el nivel R_2
- 60% esta en el subnivel R_1
- Bandas de absorción mas fuertes son: $0.81 \mu m$ y $0.75 \mu m$.

Figure 5-14(a) Energy levels of the Nd:YAG laser crystal

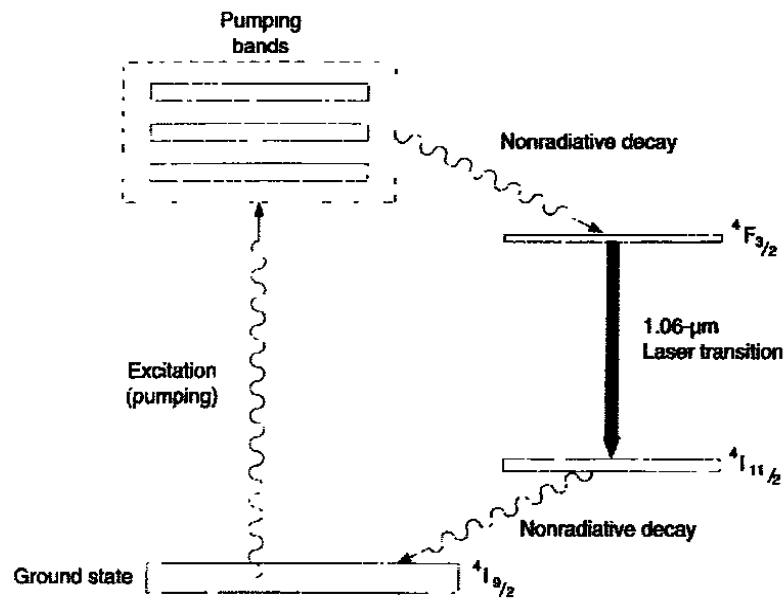


Figure 2.5 Energy level diagram of Nd:YAG.

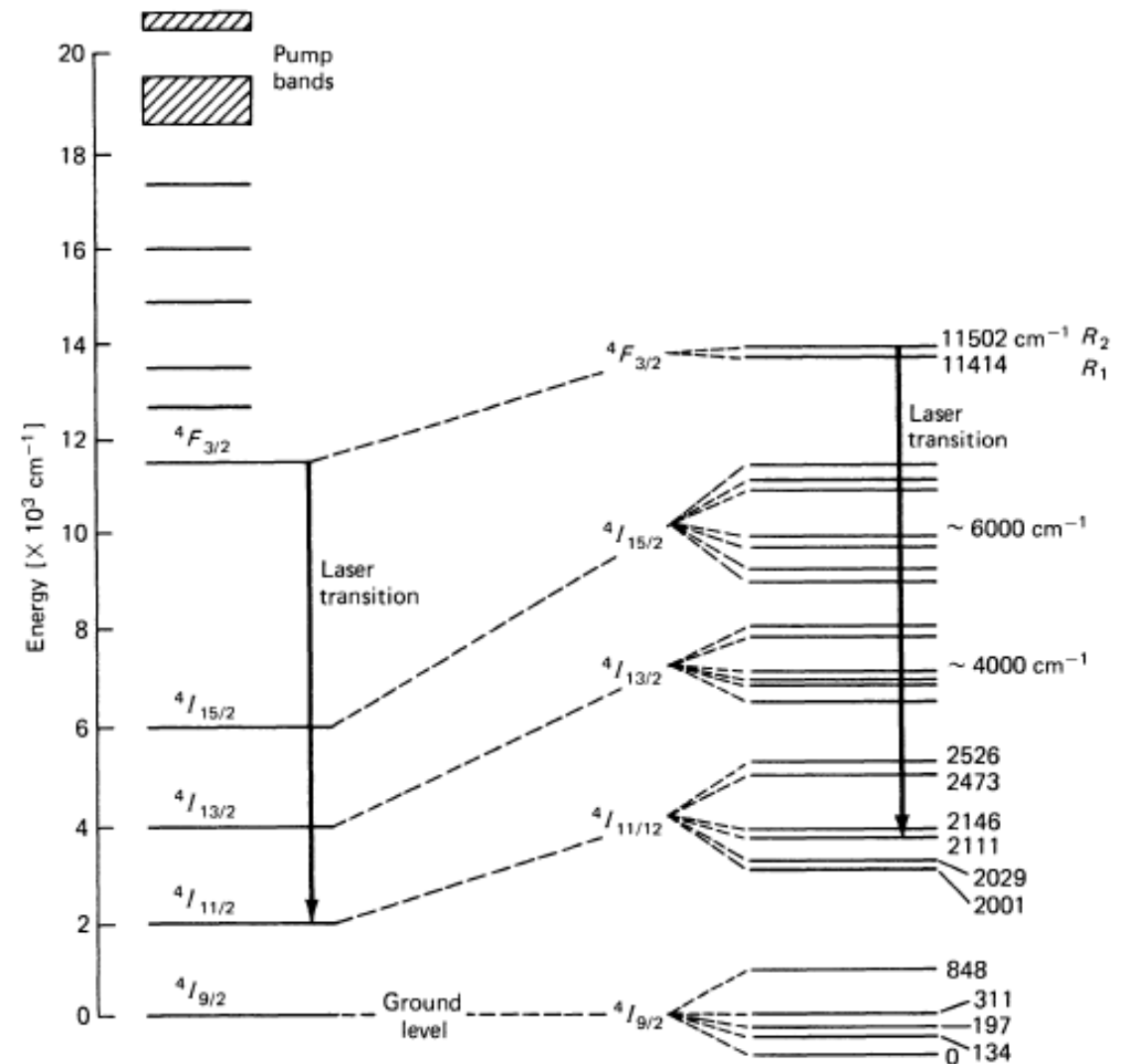
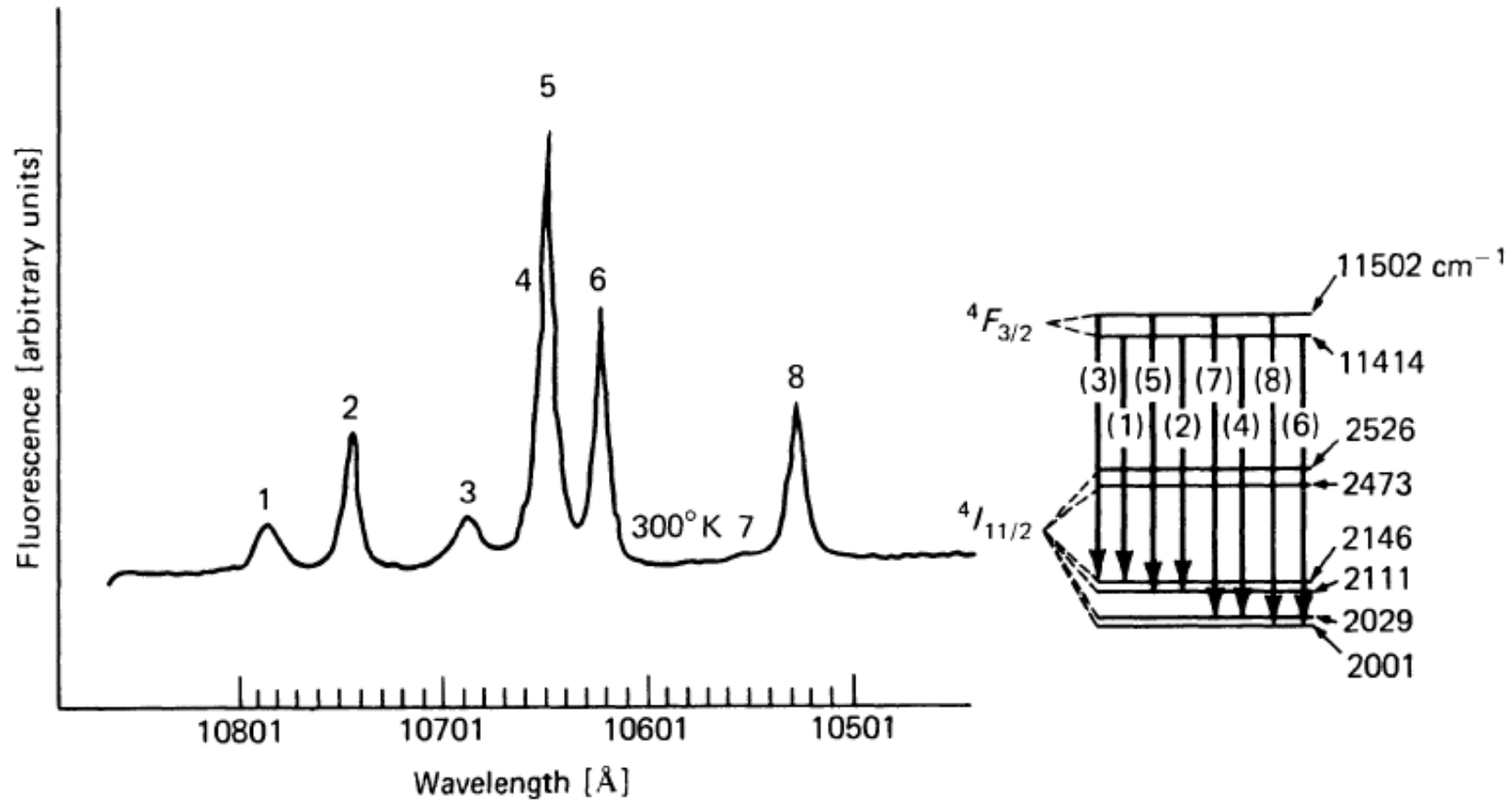


Figure 2.6 Fluorescence spectrum of Nd^{3+} in YAG at 300 K in the region of 1.06 μm . (After Koningstein *et al.* [2.75].)



Referencias

Walter Koechner, *Solid state laser engineering / Walter Koechner*, Springer-Verlag, New York , 1976.

W. T. Silfvast, *Laser Fundamentals*, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

L.V Ponce, , *M8: Solid State Lasers (SSL) and their Applications Manufacture and Technology of SSL*, FIRST ICO-ICTP-TWAS Central American Workshop in Lasers, Laser Applications and laser Safety Regulations, Costa Rica, 2012.