

TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS EN LAS COMUNICACIONES
OPTICAS

Por:

J. Antonio Martín Pereda

Cátedra de Tecnología de Fabricación.
E.T.S.I. Telecomunicación. U.P.M.

I.- INTRODUCCION

Según hemos visto en las charlas que nos han precedido, varios son los puntos a considerar a la hora de hacer una adecuada elección de los medios emisores de radiación. Una primera es, evidentemente, la longitud de onda a transmitir. Otra, la posibilidad de fácil modulación de la señal emitida. Finalmente, las características de los pulsos transmitidos, tanto en duración temporal como en anchura espectral, requieren también un cierto estudio.

Dos son los principales candidatos como emisores de luz: los láseres basados en el AsGa y los en el Nd. Las características de las fibras ópticas eliminan casi automáticamente a los otros tipos de láser que pudieran resultar mas cómodos, al menos desde un punto de vista de facilidad de trabajo. Y que son láseres, además, con bastantes mas años de experimentación que aquellos. Quedan eliminados así láseres como el de Rubí, el de He-Ne y el de Ar, que a todos resultan mas familiares. Y que por otra parte, al trabajar en la región visible del espectro, podrían eliminar peligros e inconvenientes que el uso de la zona del infrarrojo acarrea. Pero, por el momento, los límites están fijados y a ellos nos ceñiremos.

Comencemos, en primer lugar, analizando brevemente la situación actual de los láseres de AsGa y de los de Nd. Es un hecho el que los primeros se encuentran ya, en un punto en el que, aunque pueden tener problemas, su facilidad de manejo y su comodidad de empleo aventaja con mucho a los de Nd. Los de Nd de que se dispone en el mercado son láseres de gran tamaño, que manejan altas potencias y en los que la modulación de la señal emitida no es fácil. Los de AsGa, por el contrario, son de dimensiones muy reducidas, de potencias de trabajo medias y de modulación muy simple gracias a su mecanismo de inyección. Esta conversión directa de energía eléctrica en óptica hace que todos los circuitos electrónicos asociados sean mucho mas elementales que en otras situaciones y de aquí el interés en su uso. Por el contrario, las propiedades espectrales del láser de Neodimio son considerablemente superiores merced a la estructura de la línea de la transición entre los niveles

${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ del ión libre de Nd, que se mantiene en el cristal. Su longitud de onda de emisión, por otra parte, es tan adecuada o más, que la del AsGa, según vimos en las propiedades de las fibras.

Queda, en consecuencia, como problema básico a resolver en el láser de Nd el de su tamaño. Y las perspectivas actuales parecen esperanzadoras. Veremos aquí algunas de las tendencias presentadas en los últimos meses analizándolas con vistas a su aplicación práctica.

A modo de resumen, en la Tabla adjunta aparecen los requisitos necesarios en un transmisor láser que serían precisos en un sistema de comunicaciones ópticas de banda ancha, comparando lo ofrecido y lo posible en los dos láseres que nos preocupan.

II.- CARACTERISTICAS DE LOS LASERES DE Nd (Nd:YAG)

Como hemos visto antes varias son las características que presentan los láseres de Nd, y que los hacen trabajar con ventaja sobre los de AsGa. Estas, detalladamente, son las siguientes:

- a) La longitud de onda de emisión es de $1,06\mu$, que coincide con una región de bajas pérdidas de las fibras usadas.
- b) Esta mayor longitud de onda de trabajo, le da una gran ventaja intrínseca sobre los de AsGa (de longitudes de onda entre $0,8$ y $0,9\mu$) con respecto al mecanismo de pérdidas asociado con la dispersión Rayleigh, que como sabemos presenta una dependencia con $1/\lambda^4$.
- c) Su emisión espectral es mucho más estrecha que en un láser de inyección, por lo que se obtendrán una dispersión por el material, mucho menor.

T A B L A

Requisitos	Diodo Láser AsGa	Láser miniatura Nd bombeado con un LED.
1 Potencia de salida adecuada.	●	△
2 Longitud de onda adecuada con las mínimas pérdidas de la Fibra.	△	●
3 Larga vida.		○
4 Pequeña anchura de banda de la Línea de Emisión.		○
5 Estabilidad en la emisión.	—	●
6 Capacidad de modulación directa.	●	—
7 Gran anchura de banda en la modulación.	●	—
8 Posibilidad de integración con otros dispositivos.	●	△
9 Alta eficiencia de acoplo.	●	△
10 Pequeño consumo de potencia.	○	
11 Economía de producción.	○	
12 Pequeño volumen.	●	△

● Realizado

△ Realizable

○ Probablemente mas fácil de realizar con este tipo de láser

— Realizable unicamente con dispositivos auxiliares.

- d) Es relativamente fácil obtener una salida monomodo.
- e) Con un bombeo por LED se espera tenga una vida relativamente larga.

Desde 1964 existen láseres de este tipo trabajando en forma continua, a temperatura ambiente, y con un bombeo por lámpara de halógenos dentro de una cavidad de sección elíptica. Es bastante fácil de obtener una salida multimodo de potencia superior a los 10w y con un rendimiento de alrededor del 1%. Pero su alto consumo y la necesidad de refrigeración por agua, hacen de él que, en estas condiciones sea impracticable su uso directo en un sistema de comunicaciones.

En 1969 se comenzó a estudiar la posibilidad de miniaturizarle, basándose en el hecho de poder bombearle mediante un LED que emitiese alrededor de los 8100 Å. Los primeros estudios dieron resultados de una salida de 1,4mw habiendo gastado 30w en la excitación de los LEDs.

Entre las estructuras empleadas, la mas extendida fue la de un LED acoplado directamente, a través de una pasta transparente de unión, a un extremo de la barra de Nd:YAG. Las dimensiones de ésta eran de 5mm x 0,45 mmφ, y sus extremos estaban recubiertos por espejos dieléctricos. Esta configuración no ha dado lugar a lo que se esperaba de ella, esencialmente por la dificultad de un acoplo eficiente.

Una solución, recientemente presentada por Ostermayer, (1) es la que puede verse en la Figura. En ella se sigue bombeando por un extremo, pero la diferencia es de que se hace por reflexión de la luz emitida por el LED sobre una semiesfera de vidrio recubierta internamente de una metalización de oro. Ambos elementos, LED y varilla de Nd:YAG, se encuentran muy próximos al centro de dicha esfera. Los extremos del láser se recubren de una cubierta tal que posea muy alta reflectividad para 1,06μ y una transmisión superior al 90% para 8050 Å (longitud de onda de emisión del láser). Con este montaje, aproximadamente un 56% de la potencia emitida por el -

LED es absorbida por el láser, obteniéndose al final un rendimiento del 0,07%. Con una corriente de unos 250mA en el LED, la salida del láser fue de 0,25 mW. (multimodo)

Como puede apreciarse aún falta bastante para conseguir un resultado aceptable.

Otra solución que creo puede ser base de futuros desarrollos, es la presentada por G. Winzer, et al. (2) En ella, una de las formas de laseado que utiliza es radicalmente diferente a la de los láseres convencionales. Es la que suele denominarse para láser de película delgada y que puede verse en la Figura correspondiente. En ella el láser está constituido por la colocación de un "espejo" de película delgada en cada uno de los extremos de una guía-onda. Estos "espejos" no son sino redes de difracción reflectantes, realizadas sobre el substrato, y sobre los que se depositó la película. Una red de unas 500 líneas, en una anchura de alrededor de 0,1mm, es capaz de reflejar virtualmente toda la luz, con lo que si el material de la película es el adecuado, podrá alcanzarse la acción láser. Hasta 1974 el uso de estos láseres fue muy escaso debido al material empleado: el poliuretano dopado con rodamina 6G. Su vida, como láser, no alcanzaba a las seis horas, G. Winzer et al., en su trabajo depositaron diferentes tipos de películas, de $P_5O_{14}Nd$, de $P_5O_{14}Nd_{0,5}Y_{0,5}$ y de YAG:Nd. La primera presenta la ventaja de una ganancia óptica seis veces mayor que para la segunda, mientras que ésta tienen la de no sufrir deformaciones al cambiar de estructura cristalina. La tercera ya nos es familiar. En todas estas situaciones, el bombeo se hace directamente sobre la superficie de la película por una batería de LED's que permiten alcanzar el nivel de potencia requerido. En el caso del Nd:YAG, la intensidad requerida es, con mucho la menor de todos los otros materiales de Nd (unos $15W/mm^2$).

Evidentemente la situación no es todavía la que puede servir de antesala a una rápida aplicación práctica. Falta conseguir que la radiación de salida del láser sea modulada y que sea intro-

cida de forma adecuada a un medio transmisor. Ya sabemos que con un láser de Nd esto no es conseguible de manera automática como ocurre con los de AsGa. Es necesario un modulador posterior. Procede, en consecuencia, hacer un pequeño repaso de los tipos posibles de moduladores.

III.- MODULADORES OPTICOS Y EFECTOS FISICOS EMPLEADOS

Como ya es sabido, tres son los grupos en los cuales pueden englobarse todos los moduladores empleados: electro-ópticos, acusto-ópticos y magneto-ópticos. Los primeros engloban efectos - que cambian el índice de refracción, la absorción del material o la dispersión de la luz en su paso por éste. Esencialmente los mas empleados son los que cambian el índice de refracción aprovechando efectos como el Pockels o el Kerr cuya descripción no es éste su lugar.

Los moduladores acusto-ópticos son, básicamente, modula-
dores del índice de refracción de un material, originándose el -
cambio por tensiones mecánicas provocadas por el paso de una se-
ñal acústica. La potencia de este tipo necesaria alcanza órdenes
de 100 wat/cm^2 que pueden ser, a veces, algo altos para las apli
caciones que aquí vemos.

Con respecto a los magneto-ópticos es solo el efecto Fa-
raday el empleado. Ello lleva consigo el uso de radiaciones lineal
mente polarizadas lo cual no es fácil de obtener en los láseres de
Nd tipo miniatura como el que hemos estudiado. De hecho muy pocas
han sido las aplicaciones concretas realizadas.

Desde un punto de vista puramente estructural, pueden en
contrarse asimismo divididos en dos grandes bloques los moduladores
ópticos: en moduladores de volumen y de guía-onda. Si lo que esta-
mos tratando de conseguir es una adaptación, lo mas perfecta posi
ble, entre un láser de Nd (a ser posible miniatura) y una fibra óp

tica, parece lógico el que nuestro modulador sea también muy reducido. A fin de obtener una completa integración de todos los componentes, la solución más plausible parece la centrada en torno a los moduladores ópticos en guía-onda. De los hablaremos brevemente.

En el momento actual casi todos los trabajos realizados han tenido como centro a los moduladores, desde un punto de vista aislado. La unión, sobre el mismo sustrato, con el láser, aún no se ha realizado con plena efectividad. Debido a ello, en los análisis que pueden verse en la literatura (3)-(4) aparece como punto importante, en primer lugar, el del acoplo de la luz al interior de la guía-onda. Una de las formas de realizarlo es la que aparece en la Figura, donde puede verse que tanto la introducción como la extracción, se realizan gracias a un prisma. Puede verse un hecho fundamental que separa este caso de la conducción de luz por un simple cristal: aquí ésta pasa, únicamente, por una pequeña región del circuito. Y para que esto ocurra los índices de refracción de los medios que rodean a la guía han de ser perfectamente estudiados. Con ello los ángulos α y β de reflexión total, en la figura, son críticos y diferentes entre sí. Evidentemente, diferentes ángulos de incidencia podrán crear diferentes modos en la guía, por lo que la introducción de un único rayo puede ser de considerable importancia.

Existen varias otras formas de acoplo, como por red de difracción, pero no conviene detallarlas ya que nos separaríamos del tema.

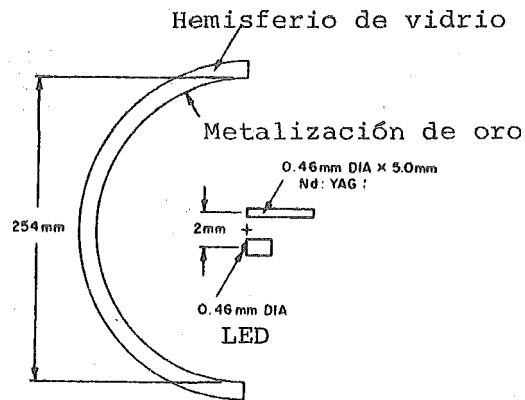
Volviendo al tema de los moduladores vamos a centrarnos en uno de ellos: el magneto-óptico. Y esto no por su importancia sino simplemente por introducir uno que es, quizás, el más desconocido. Su fundamento aparece en la Figura. El dispositivo está compuesto por un disco de un granate de hierro, magnetizado, sobre un sustrato de otro granate. En íntimo contacto con la película aparece un circuito eléctrico sobre el que actúa la señal

moduladora. Si un haz de radiación infrarroja, polarizada linealmente, se introduce por la izquierda de acuerdo a si hay o no señal en el circuito, pasará a tener una polarización perpendicular o igual a la de entrada. Si el prisma de salida es birrefringente podremos tener dos haces con la correspondiente información. Velocidades del orden de 3×10^8 Mc/s se han llegado a obtener con este dispositivo.

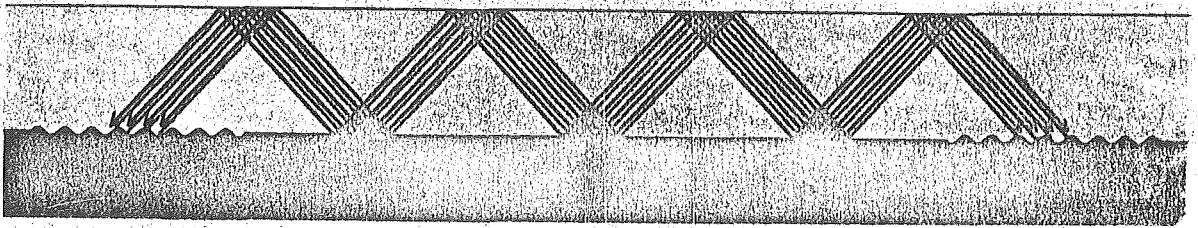
Queda así, como circuito completo el que puede apreciarse en la figura. En ella aparecen, por el momento teóricamente, integrados todos los componentes que podrían dar lugar a un emisor para comunicaciones ópticas. La realidad o no de este dispositivo la veremos en los años venideros.

IV.- BIBLIOGRAFIA

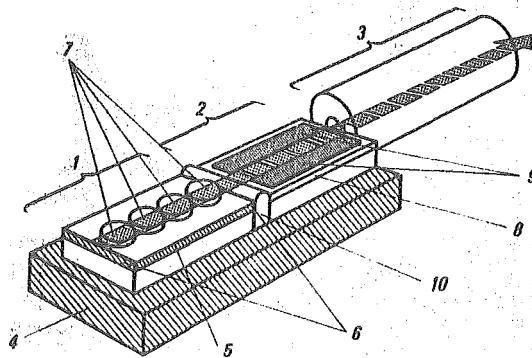
- 1.- F.W. OSTERMAVER, Jr: "LED End-Pumped Nd:YAG Lasers"
IEEE J.Q.E. Jan. 77 1-6
- 2.- G. WINZER et al.: "Miniature Neodymium Lasers (MNL) as Possible Transmitters for Fiber-Optics Communication Systems"
Siemens Forsch Bd. 5 (1976) 287-302
- 3.- "INTEGRATED OPTICS" : ed. D. Marcuse. IEEE Press. 1973
- 4.- "INTEGRATED OPTICS" : ed. T. Tamir. Springer-Verlag 1975



ACOPLO DE LA RADIACION DE UN LED

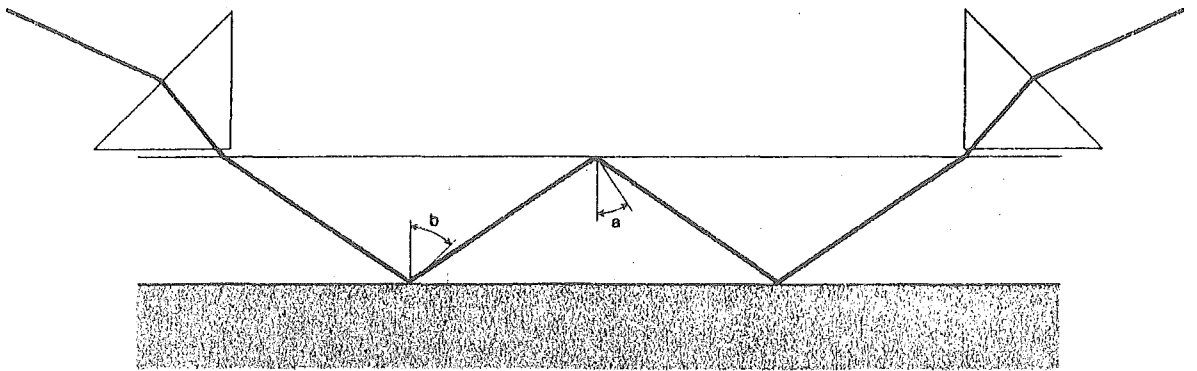


LASER DE PELICULA FINA

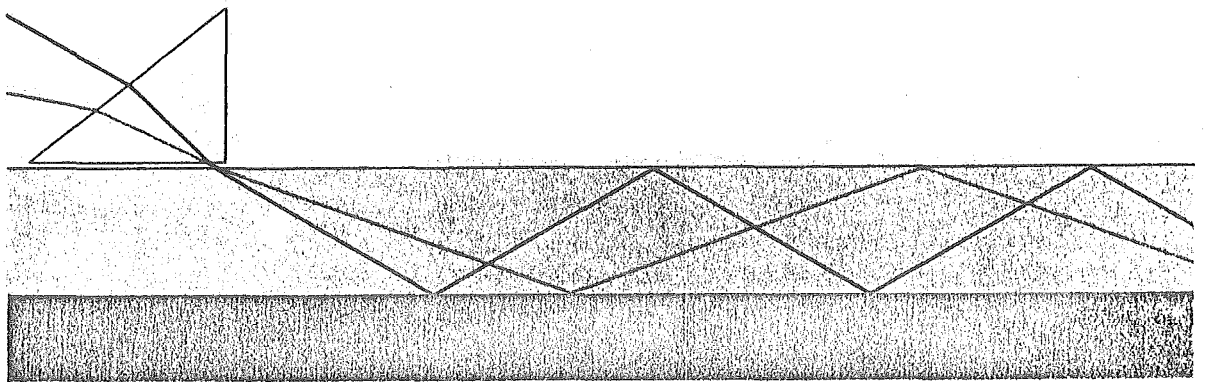


LASER DE PELICULA FINA SEGUIDO DE UN MODULADOR ELECTRO-
OPTICO Y ACOPLADO EL CONJUNTO A UNA FIBRA OPTICA.

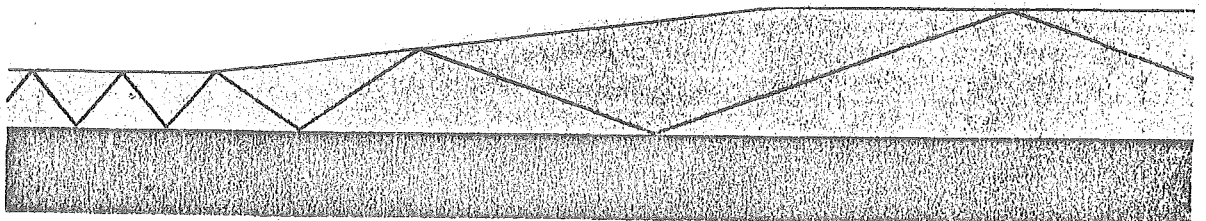
1. Láser.
2. Modulador
3. Fibra de salida
4. Substrato común
5. Láser de película fina
6. Espejos terminales
7. Sistema de bombeo por LEDs
8. Guia de onda electrooptica
9. Electrodo modulator
10. Cemento de unión.



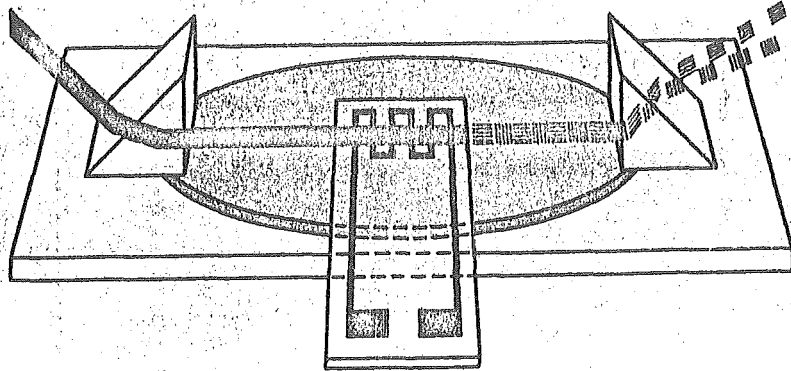
ACOPLO DE LA RADIACIÓN A LA PELICULA CONDUCTORA



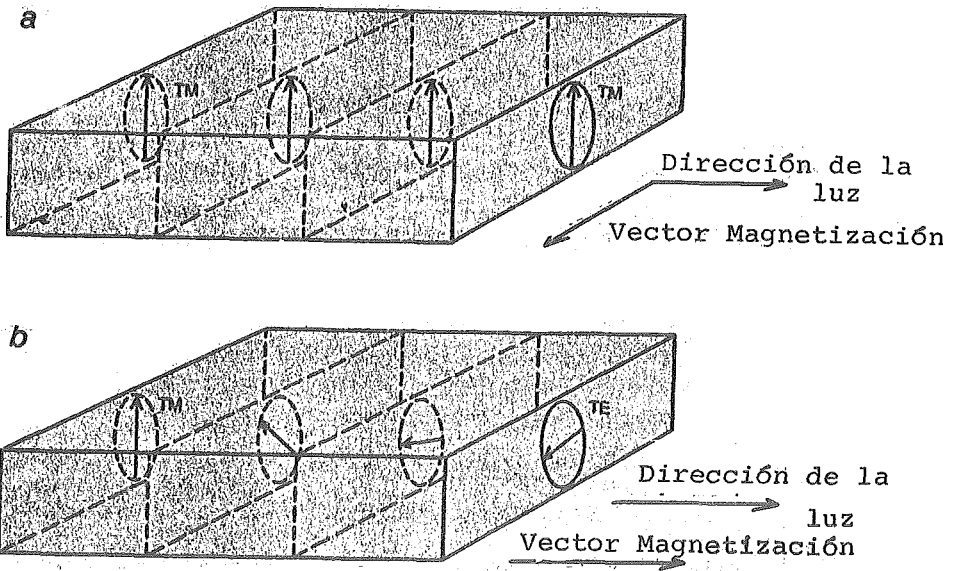
PENETRACION DE DIFERENTES MODOS



ACOPLO ENTRE DIFERENTES ESPESORES

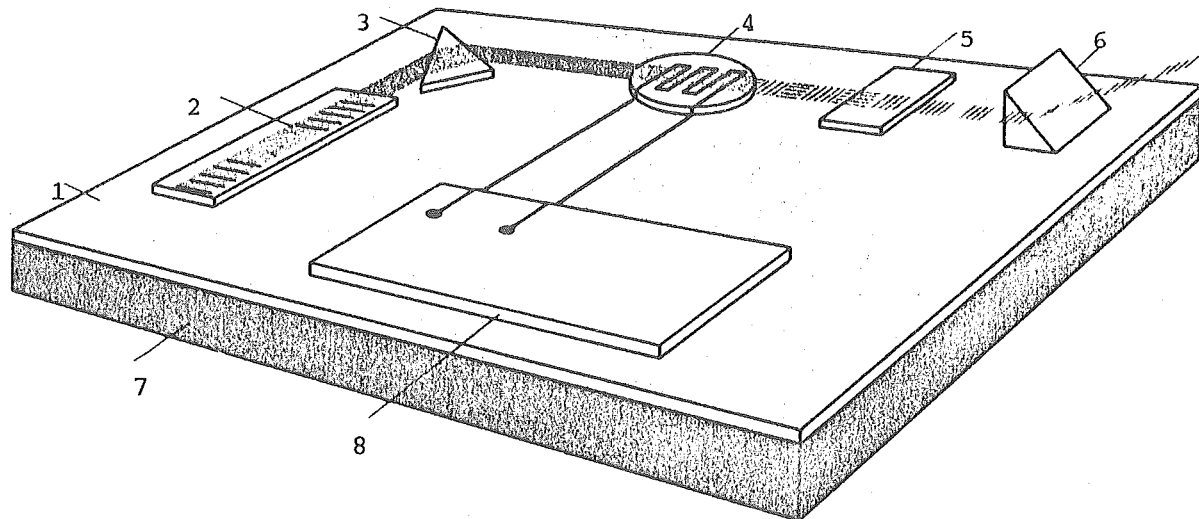


MODULADOR MAGNETO-OPTICO



FORMA DE TRABAJO DE UN MODULADOR MAGNETO-OPTICO

- a. Sin campo magnetico externo
- b. Con campo magnetico externo



CIRCUITO OPTICO COMPLETAMENTE INTEGRADO

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1.- Película soporte | 2.- Láser |
| 3.- Prisma | 4.- Modulador |
| 5.- Polarizador | 6.- Acoplador de prima |
| 7.- Substrato | 8.- C.I. electrónico |