

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 540**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/22 (2006.01)

G02B 5/20 (2006.01)

H01Q 1/42 (2006.01)

H01Q 5/00 (2006.01)

H01Q 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04753830 .1**

96 Fecha de presentación: **02.06.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1656715**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.05.2006**

54

Título: **PROTECCIÓN CONTRA INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA CÚPULAS DE RADAR.**

30

Prioridad:
08.08.2003 US 638075

73

Titular/es:
**LOCKHEED MARTIN CORPORATION
6801 ROCKLEDGE DRIVE
BETHESDA, MD 20817, US**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2011

72

Inventor/es:
PICARD, Thomas, G.

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2011

74

Agente: **Durán Moya, Carlos**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 369 540 T3

DESCRIPCIÓN

Protección contra interferencias electromagnéticas para cúpulas de radar

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Campo de la invención (Campo técnico):

10 La presente invención se refiere a "radomes" (también conocidas como "cúpulas" o "ventanas") y a métodos para fabricarlas que proporcionen protección contra las interferencias electromagnéticas (EMI, por sus siglas en inglés). Los "radomes" son envoltorios, generalmente en forma de cúpula, que son transparentes a una o varias formas de radiación, y son utilizadas habitualmente para alojar la parte de antena de radiación de un detector.

Descripción de la técnica relacionada

15 Los revestimientos EMI normales para cúpulas para radar, electro-ópticas (EO, por sus siglas en inglés), (tales como rejillas) son opacos a la radiofrecuencia (RF). Las cúpulas para radar existentes, son EO opacas debido a sus propiedades físicas. En consecuencia, existe la necesidad de cúpulas para radar para detectores, tales como en los buscadores de misiles que disponen a la vez de protección EMI y son EO transparentes. La presente invención cumple con ello al recubrir un sustrato EO transparente con un semiconductor, preferentemente nitrato de galio (GaN), seguido del grabado de una superficie selectiva de frecuencias (FSS, por sus siglas en inglés) en el semiconductor.

20 La patente U.S. 2002/0059881 A1 da a conocer un elemento protector que puede ser arrojado o despedido para proteger el elemento protegido contra la atmósfera exterior. Dicha invención es particularmente adecuada para un sistema electro-óptico de detección, equipado con una cúpula o ventana óptica.

25 La patente U.S. 3 961 333 da a conocer un "radome" o un "irdome" (cúpula transparente a los rayos infrarrojos) con una rejilla de alambre para dejar pasar frecuencias de microondas.

30 BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención la constituye un "radome", y el método correspondiente de fabricación, que comprende: un sustrato electro-óptico transparente; un recubrimiento semiconductor sobre el sustrato; y una superficie selectiva de la frecuencia incorporada en el recubrimiento. En la realización preferente, el sustrato es único o es una combinación de cristal, silicio, MgF_2 , ZnS y espinelas, muy preferentemente zafiro (con un recubrimiento de GaN). El recubrimiento es único o es una combinación de GaP, GaN, GaAs, SiC y Si, muy preferentemente GaN. Preferentemente, la superficie ha sido grabada en su recubrimiento (muy preferentemente grabada químicamente) o grabado el recubrimiento mediante ablación (muy preferentemente mediante láser con una longitud de onda aproximadamente de 234 nm). El recubrimiento proporciona una protección substancial a un detector frente a interferencias electromagnéticas, tal como un detector de apertura común electro-óptica y de radio frecuencia.

40 La presente invención se refiere asimismo a un "radome" que comprende: un sustrato electro-óptico transparente; y un recubrimiento semiconductor sobre el sustrato; y en el que el recubrimiento semiconductor proporciona una protección substancial a un detector contra las interferencias electromagnéticas.

45 Los objetivos, ventajas y características novedosas, y el ámbito adicional de aplicabilidad de la presente invención se expondrán en parte en la siguiente descripción detallada, conjuntamente con los dibujos adjuntos, y, en parte será evidente a los expertos en la materia, después del examen de lo siguiente, o puede aprenderse mediante la práctica de la invención. Los objetivos y ventajas de la invención pueden conseguirse y alcanzarse mediante los medios instrumentales y las combinaciones indicadas, especialmente en las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DISTINTAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

55 Los dibujos adjuntos, que están incorporados en la descripción y forman parte de la misma, muestran una o varias realizaciones de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. Los dibujos tienen únicamente el objetivo de mostrar una o varias realizaciones preferentes de la invención y se considera que no limitan la invención. En los dibujos:

60 La figura 1(a) es una vista frontal, en perspectiva, de un "radome" según la invención, que comprende una capa semiconductor sobre un sustrato EO transparente, mostrando la mitad izquierda de la figura una vista exterior y mostrando la mitad derecha de la figura, el sustrato al descubierto y la capa semiconductor que lo recubre sin configurar;

65 La figura 1(b) es una vista, a mayor escala, del "radome" mostrando una FSS incorporada en la capa semiconductor.

La figura 2 es un gráfico de una transmisión MMW en el caso de GaN policristalino sobre un sustrato de cristal;

La figura 3 es una transmisión de IR de onda media en el caso de GaN policristalino sobre un sustrato de cristal;

5 La figura 4 es un gráfico de una transmisión visible y próxima al IR del GaN policristalino sobre un sustrato de cristal;

La figura 5 es un gráfico de una transmisión IR en el caso de GaN sobre un disco de silicio;

10 Las figuras 6(a) y (b) son gráficos de la reflectancia del GaN en bruto en la gama visible y de IR;

Las figuras 7(a) y (b) son gráficos del índice de refracción del GaN en bruto en la gama visible y de IR;

15 Las figuras 8(a) y (b) son gráficos de transmisión de GaN en bruto en la gama visible y de IR;

Las figuras 9(a) y (b) son gráficos del GaN de transmisión y reflexión en zafiro en la gama visible y de IR;

La figura 10 es un gráfico de pérdidas de transmisión por RF del GaN sobre muestras de zafiro; y

20 La figura 11 es un gráfico de una transmisión visible de IR de onda media, de GaN sobre zafiro.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

25 La presente invención se refiere a un método de construcción de un "radome" que proporciona protección contra las EMI, sin afectar de forma significativa al rendimiento de EO/Infrarrojo (IR) y de la RF, y a un "radome" fabricado de este modo. La tecnología actual para la protección contra las EMI no es compatible con un detector EO/IR/RF de apertura común. La protección contra las EMI, en el caso de "radomes" corrientes, utiliza rejillas que son opacas a las RF o utilizan configuraciones de cobre grabadas con ácido que son opacas a EO/IR y que afectan de forma significativa al rendimiento. En la actualidad no existen soluciones que proporcionen una protección contra EMI que sean transparentes a la vez a la RF y a EO.

30 En la presente invención, tal como se muestra en la figura 1(a), se "recubre" una superficie -14- del sustrato del "radome" con un semiconductor -12- (por ejemplo, MgF_2 , ZnS y una espinela (tal como zafiro)) y, haciendo referencia a la figura 1(b), se incorpora una configuración -16- en el semiconductor (preferentemente mediante grabado, muy preferentemente mediante grabado químico o mediante ablación, muy preferentemente mediante ablación por láser) para la transmisión de las RF. El GaN es el material semiconductor preferente dado que es un "conductor transparente" y puede ser adaptado en forma de protector contra las EMI para detectores EO/IR/RF. Otros semiconductores que pueden ser utilizados en la presente invención incluyen GaP, GaAs, SiC y Si.

40 El nitruro de galio (GaN) es un material semiconductor que se utiliza actualmente en muchos dispositivos de diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés). El material tiene una densidad intrínseca bastante elevada como donante (aproximadamente de $10^{16}/\text{cm}^3$) que se traduce en una conductividad intrínseca más elevada que en los semiconductores típicos (aproximadamente de $2 \text{ (ohmios-cm)}^{-1}$), y es más conductivo cuando está dopado (generalmente los dispositivos semiconductores tienen una densidad intrínseca menor como donantes y por consiguiente, una conductividad intrínseca menor). Además, un material común para el dopaje con GaN es silicio, y el silicio es transparente para la mayor parte de longitudes de onda de IR. Tal como se muestra a continuación, la transmisión de IR del GaN es independiente de la conductividad y del grosor en muestras delgadas.

45 Pueden utilizarse, por lo menos, dos métodos para colocar una configuración FSS en GaN. El primero es un proceso mediante un grabado químico típico utilizando KOH, que es muy cáustico. La manipulación y el procesado en este grabado es más engorroso que el procesado actual de los "radomes" en los que se graba cobre. El segundo método para la eliminación de la configuración de GaN es la ablación mediante láser. El GaN puede ser eliminado por ablación mediante la utilización de un láser sintonizado a una longitud de onda de 234 nm. Los impulsos del láser hacen que el GaN se descomponga y se convierta en gas.

Aplicabilidad industrial

50 La invención se ilustra adicionalmente por medio de los siguientes ejemplos no limitativos. El GaN viene en dos formas generales, de cristal único y policristalino (o amorfo). Se realizó un estudio tanto del GaN de cristal único como del policristalino.

Ejemplo 1

55 Se evaluaron cinco muestras de GaN policristalino sobre cristal, en lo que se refiere a la transmisión de IR y a la transmisión de RF, a saber, pérdidas de transmisión tanto en IR como en ondas milimétricas (MMW, por sus siglas en inglés). La figura 2 muestra que las mediciones de la transmisión por RF de las muestras son próximas entre sí.

Un ensayo adicional de las muestras con una sonda de cuatro puntos, para determinar la conductibilidad con corriente continua, demostró que todas las muestras eran aproximadamente de 2 ohmios/cuadrado. En la figura 3, se muestra la transmisión de las muestras con IR de onda media (se muestra una comparación con una muestra de cristal sin recubrir). Estos datos muestran que el GaN policristalino es un candidato excelente para la protección contra las EMI debido al hecho de que no existe correlación entre la transmisión MMW y la transmisión IR. En la figura 4, se muestra la transmisión visible y la transmisión cercana a los IR. Estos datos contienen asimismo una medición de una muestra sin recubrir. Los datos muestran las mismas tendencias que la transmisión de onda media.

Ejemplo 2

Se investigaron muestras de GaN policristalino sobre silicio. Dos muestras de silicio, una con GaN y una sin GaN se pulieron por un lado, y el GaN se colocó en el lado sin pulir. Se llevó a cabo la medición de una transmisión de IR en las muestras y en una muestra adicional sin GaN, tal como se muestra en la figura 5. Estos datos tienen una dispersión significativa debido al lado sin pulir del silicio. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el silicio con GaN tiene una transmisión de IR mejor que cualquiera de las muestras de silicio sin recubrir. Esto significa que el GaN es transparente a las ondas largas de IR (8μ a 12μ).

Ejemplo 3

Se evaluaron dos muestras de GaN respecto a la transmisión de IR, y se evaluó una de GaN sobre zafiro con respecto a la transmisión MMW.

La muestra Z202-2 era una muestra de GaN en bruto policristalino/rugoso, de forma semicircular, con un diámetro de 38 mm. La muestra fue pulida por las dos caras con una solución en suspensión de 1 micra y el grosor era de 0,27 mm. Tenía un ligero color marrón.

La muestra Z202-3 era una muestra de GaN en bruto policristalino/rugoso, de forma tetragonal y con un tamaño de 25 x 20 mm. La muestra fue pulida por las dos caras con una solución en suspensión de 1 micra y el grosor era de 0,79 mm. Tenía color marrón.

La muestra AP-126-2 tenía una epi-capa de crecimiento de GaN de 11,5 micras de grosor sobre un 2º diámetro de zafiro y 330 micras de grosor (13 milésimas de pulgada), pulido por ambos lados. La orientación del sustrato era en el plano c. La concentración del portador era aproximadamente de $1E16 \text{ cm}^{-3}$.

Se midieron la transmisión y la reflexión de las muestras ópticas mediante Perkin Elmer Lambda 9 para UV/Vis/NiR (170 nm a 2.500 nm) y Perkin Elmer Spectrum 2000 para infrarrojos medios y extremos (2 a 50 micras) (ver figuras 6 y 8). El índice de refracción del GaN puede deducirse de la medición de la reflexión de la muestra de GaN en bruto, especialmente de la Z202-3, que muestra muy poca transmisión para todas las longitudes de onda. La ecuación es: $R = [(n - 1) / (n + 1)]^2$. De acuerdo con el gráfico de la figura 7, el GaN tiene un índice de refracción de $2,25 \pm 0,10$, desde 5.000 Å a 6 micras de longitud de onda.

La transmisión del GaN en bruto depende ciertamente de diversos factores de absorción, tales como grosor, imperfecciones y dopantes. Ambos cristales de GaN en bruto eran muestras policristalinas/rugosas y el contorno de los granos absorbe la luz infrarroja. El cristal Z202-3 (0,79 mm de grosor) muestra menos del 2% de transmisión, desde la visible hasta longitudes de onda de 12 micras. El cristal Z202-2 (0,27 mm de grosor) muestra un pico de transmisión del 34% a una longitud de onda de 1,8 micras y disminuye hasta menos de un 1% a una longitud de onda de 4 micras.

Las mediciones estándar de transmisión en la muestra de GaN sobre zafiro (ver figura 9) mostraban algunas oscilaciones resultantes de las configuraciones de interferencia de dos superficies paralelas, es decir, la epitaxial de GaN y el sustrato de zafiro. Los periodos de las oscilaciones corresponden al grosor de la capa. Además, las mediciones de reflexión fueron realizadas tanto en el lado del zafiro como en el lado de la capa epitaxial de la muestra de GaN sobre zafiro. La diferencia en la transmisión de cerca de 10 a 12 micras de longitud de onda refleja la diferencia de las bandas de absorción del GaN y el zafiro.

La epi-capa de GaN (11,5 micras de grosor y $1E16 \text{ cm}^{-3}$ de concentración de portador) sobre el zafiro es transparente desde 4.000 Å hasta 6 micras, que es la longitud de onda de corte del sustrato de zafiro. La absorción de la epi-capa de GaN es como máximo del 5%. Todas las muestras fueron pulidas por los dos lados, lo cual es bueno para la transmisión, pero genera algunas configuraciones de interferencia y algunas confusiones en la medición de la reflexión. El índice de refracción es aproximadamente de $2,25 \pm 0,05$ desde la visible hasta 6 micras. Las características de absorción no pueden deducirse de forma exacta, excepto si se puede eliminar la reflexión especular del lado posterior haciendo rugosa la superficie de la muestra de GaN en bruto.

La medición de las pérdidas de RF en la muestra de GaN sobre zafiro era aproximadamente de 0,2 ohmios-cm.

Ejemplo 4

En base a los resultados de la primera muestra, se evaluaron diversas muestras adicionales de GaN sobre zafiro. Estas muestras fueron diseñadas para determinar si existía una correlación entre la conductividad del GaN y la transmisión de IR. Además, las muestras fueron diseñadas con el mismo grosor, de manera que la única variable en el ensayo era la conductividad (ver Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de la muestra de GaN sobre zafiro

Número de la muestra	AP219	AP218	AP217	AP174	AP126
Densidad del donante / cm ³	3,00E+17	1,00E+18	8,00E+17	1.00E+16	1,00E+16
Dopaje	Bajo	Alto	Medio	Sin dopar	Sin dopar
Grosor	6 μ	5,6 μ	6,5 μ	6 μ	11,5 μ

Se evaluó el GaN adicional sobre las muestras de zafiro para la transmisión por RF desde 18 GHz hasta 40 GHz. Debe tenerse en cuenta que el GaN era continuo y, por consiguiente, la pérdida por transmisión a 35 GHz es elevada (si un "radome" tuviera una película continua de cobre, la pérdida por transmisión sería, asimismo elevada). Los resultados del ensayo aparecen en la figura 10. Las muestras sin dopar tienen una pérdida unidireccional por transmisión menor de 10 dB y la pérdida depende en gran parte del grosor del GaN (6 μ contra 11,5 μ).

Los ejemplos anteriores pueden repetirse con igual éxito sustituyendo los reactivos descritos genérica o específicamente y/o las condiciones de funcionamiento de la presente invención por los utilizados en los ejemplos anteriores.

REIVINDICACIONES

1. Cúpula para radar, adecuada para ser utilizada con un detector electro-óptico/infrarrojo/de radio frecuencia (EO / IR / RF), de abertura común, que comprende:
5 un substrato electro-óptico transparente;
un recubrimiento semiconductor sobre dicho substrato; y/o
10 una superficie selectiva de la frecuencia, atacando o grabando por ablación dicho recubrimiento, estando adaptado dicho "radome" para proporcionar protección contra interferencias electro-magnéticas (EMI) a dicho detector EO/IR/RF sin afectar de forma significativa a EO/IR ni al rendimiento de la RF.
2. Cúpula para radar, según la reivindicación 1, en el que dicho substrato ha sido seleccionado entre el grupo
15 compuesto de cristal, silicio, MgF_2 , ZnS, espinelas y combinaciones de los mismos.
3. Cúpula para radar, según la reivindicación 2, en el que dicho substrato comprende zafiro.
4. Cúpula para radar, según la reivindicación 3, en el que dicho recubrimiento comprende GaN.
20
5. Cúpula para radar, según la reivindicación 1, en el que dicho recubrimiento está seleccionado entre el grupo compuesto de GaP, GaN, GaAs, SiC, Si, y combinaciones de los mismos.
6. Cúpula para radar, según la reivindicación 5, en el que dicho recubrimiento comprende GaN.
25
7. Cúpula para radar, según la reivindicación 1, en el que dicha superficie está grabada en dicho recubrimiento.
8. Cúpula para radar, según la reivindicación 7, en el que dicha superficie está grabada químicamente en dicho
30 recubrimiento.
9. Cúpula para radar, según la reivindicación 1, en el que dicha superficie está grabada mediante ablación en dicho recubrimiento.
10. Cúpula para radar, según la reivindicación 9, en el que dicha superficie está grabada mediante ablación con
35 láser de una longitud de onda aproximadamente de 234 nm.
11. Método para fabricar una cúpula para radar, adecuada para ser utilizada con un detector electro-óptico / infrarrojo / de radio frecuencia (EO / IR / RF), de apertura común, comprendiendo el método las etapas de:
40 aplicación de un substrato electro-óptico transparente;
recubrir el substrato con un semiconductor y grabar químicamente o mediante ablación una frecuencia selectiva en el recubrimiento, produciendo de este modo una cúpula para radar adaptada para proporcionar protección contra
45 interferencias electromagnéticas (EMI) a dicho detector de EO/IR/RF sin afectar de forma significativa al EO/IR y al rendimiento de la RF.
12. Método, según la reivindicación 11, en el que en la etapa de aplicación del substrato, dicho substrato está
seleccionado entre el grupo compuesto de cristal, silicio, MgF_2 , ZnS, espinelas y combinaciones de los mismos.
- 50 13. Método, según la reivindicación 12, en el que en la etapa de aplicación del substrato, dicho substrato comprende zafiro.
14. Método, según la reivindicación 13, en el que, en la etapa de recubrimiento, el semiconductor comprende GaN.
- 55 15. Método, según la reivindicación 11, en el que en la etapa de recubrimiento el semiconductor está seleccionado entre el grupo consistente en GaN, GaAs, SiC, Si, y combinaciones de los mismos.
16. Método, según la reivindicación 15, en el que, en la etapa de recubrimiento, el semiconductor comprende GaN.
- 60 17. Método, según la reivindicación 11, en el que en la superficie está grabada en el recubrimiento.
18. Método, según la reivindicación 17, en el que en la superficie está grabada químicamente en el recubrimiento.
19. Método, según la reivindicación 11, en el que en la superficie está grabada por ablación en el recubrimiento.
65

20. Método, según la reivindicación 19, en el que en la superficie está grabada mediante ablación por láser con una longitud de onda aproximadamente de 234 nm.

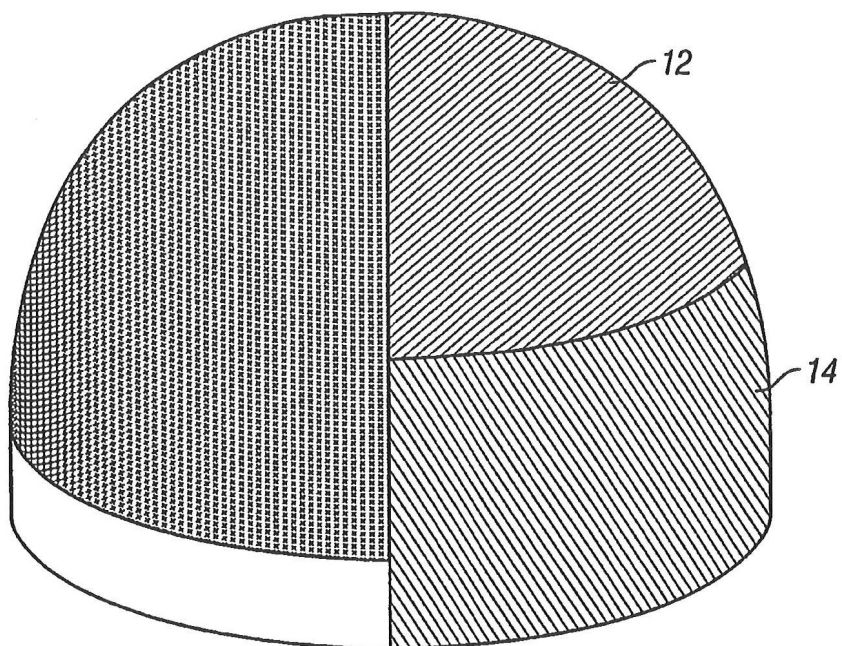


FIG. 1A

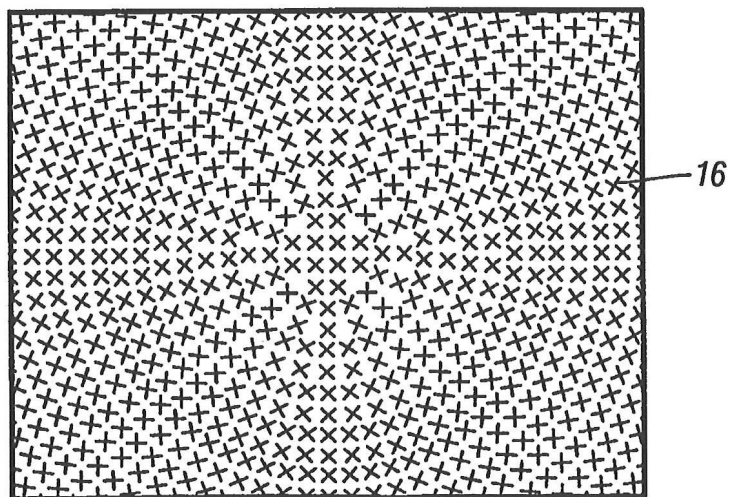


FIG. 1B

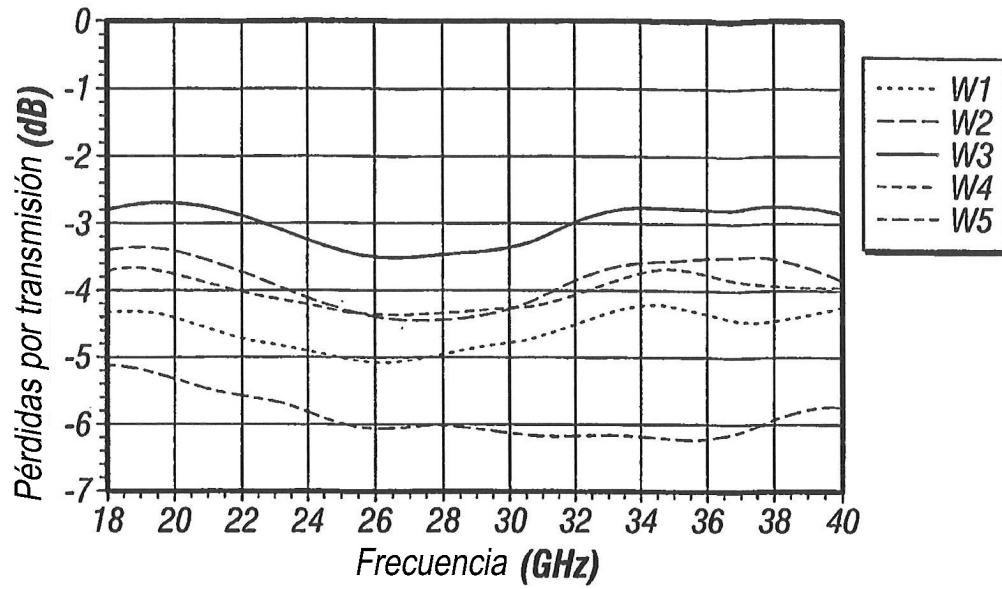


FIG. 2

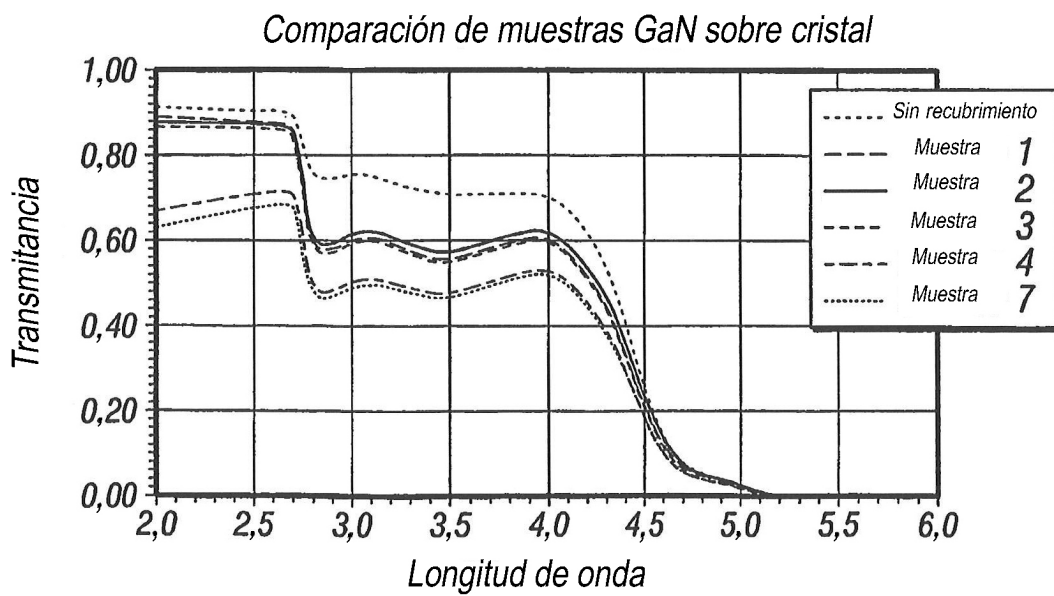


FIG. 3

Comparación de muestras GaN sobre cristal

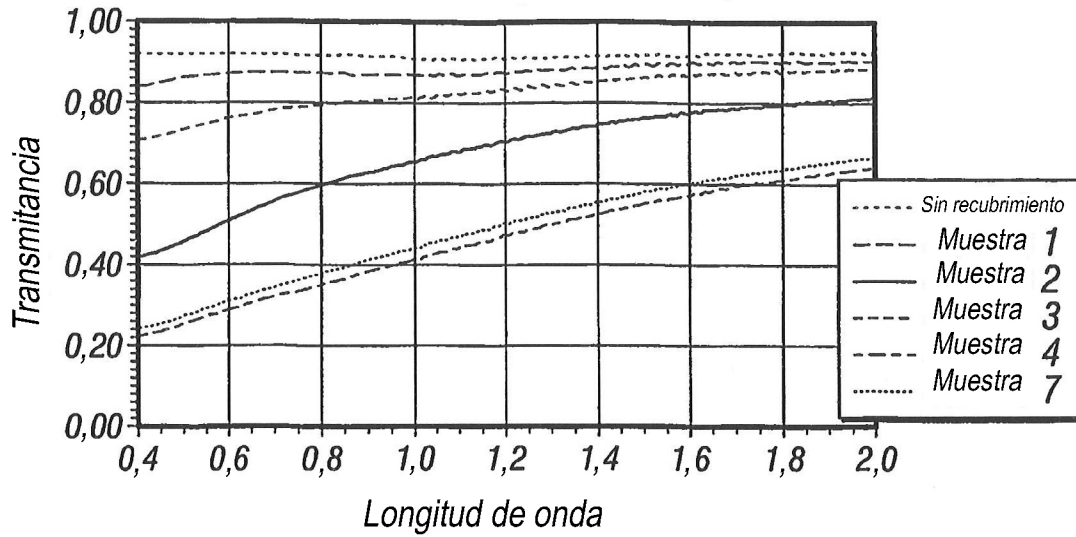


FIG. 4

Discos de Si D3D

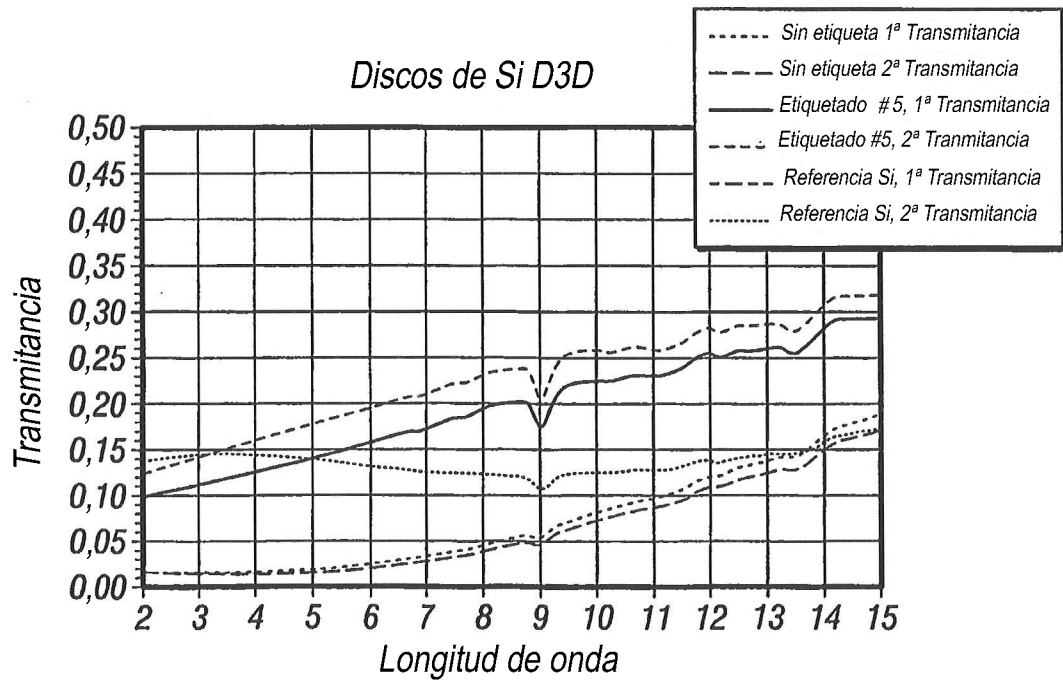


FIG. 5

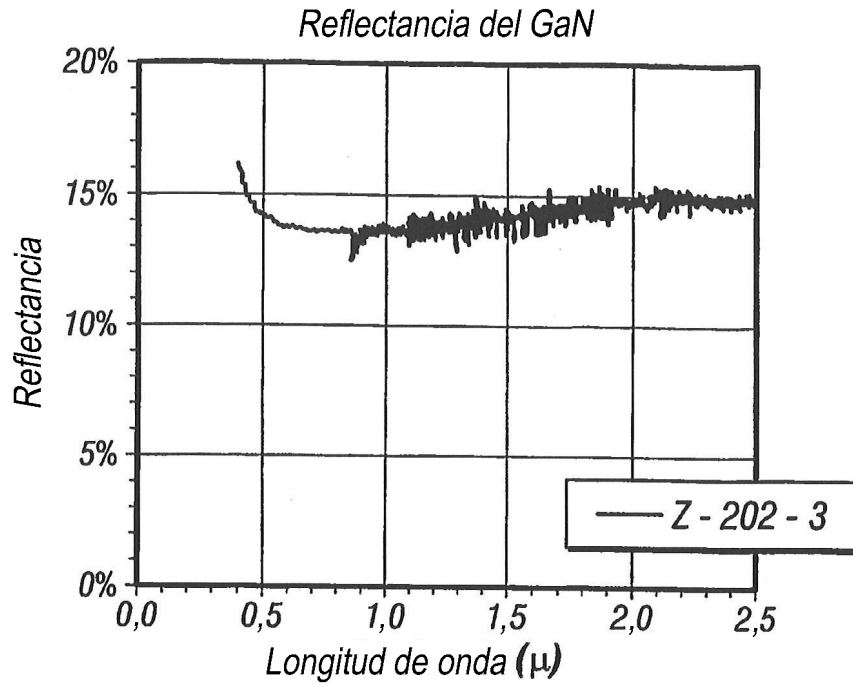


FIG. 6A

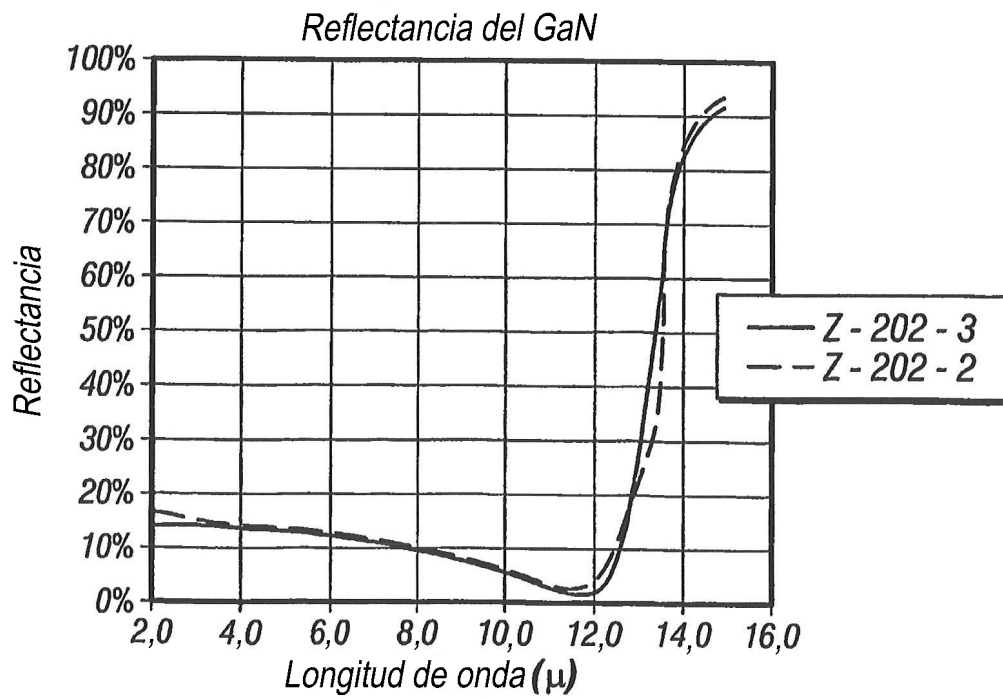


FIG. 6B

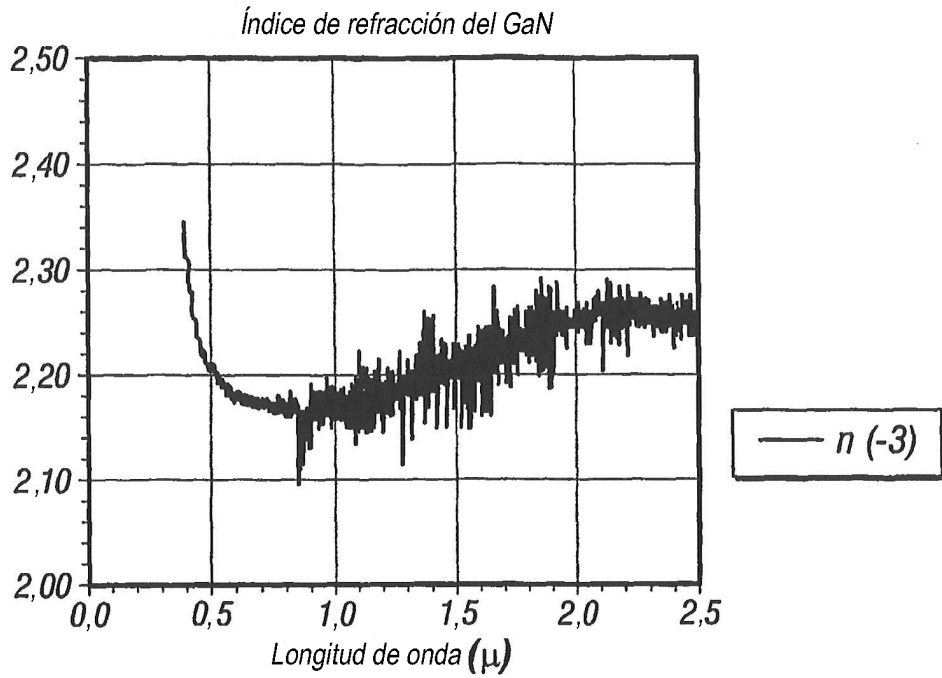


FIG. 7A

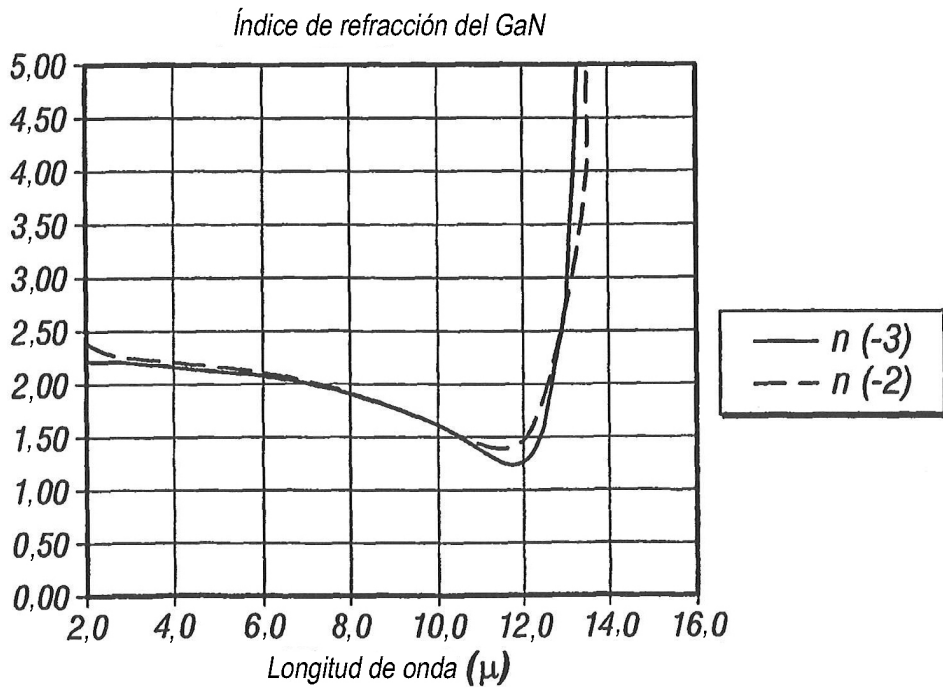
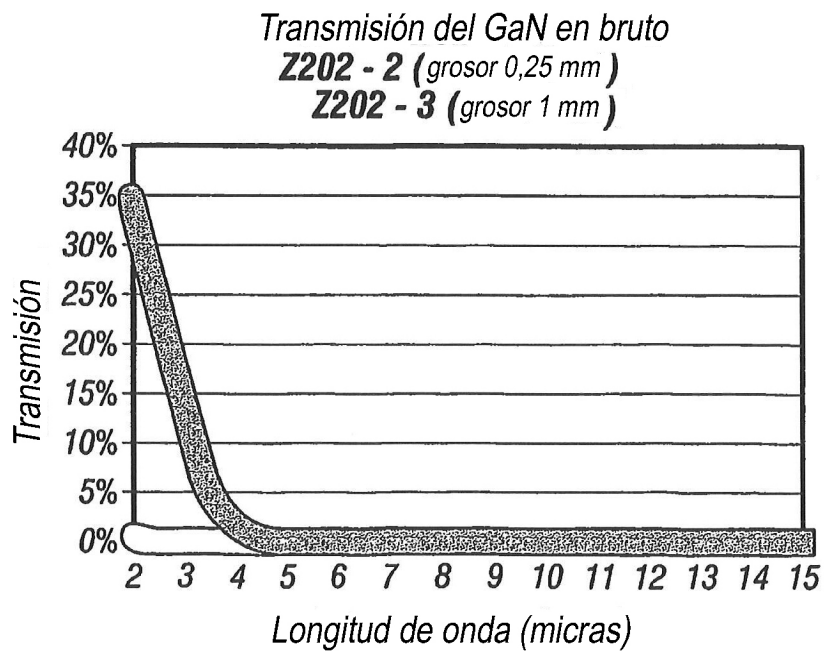
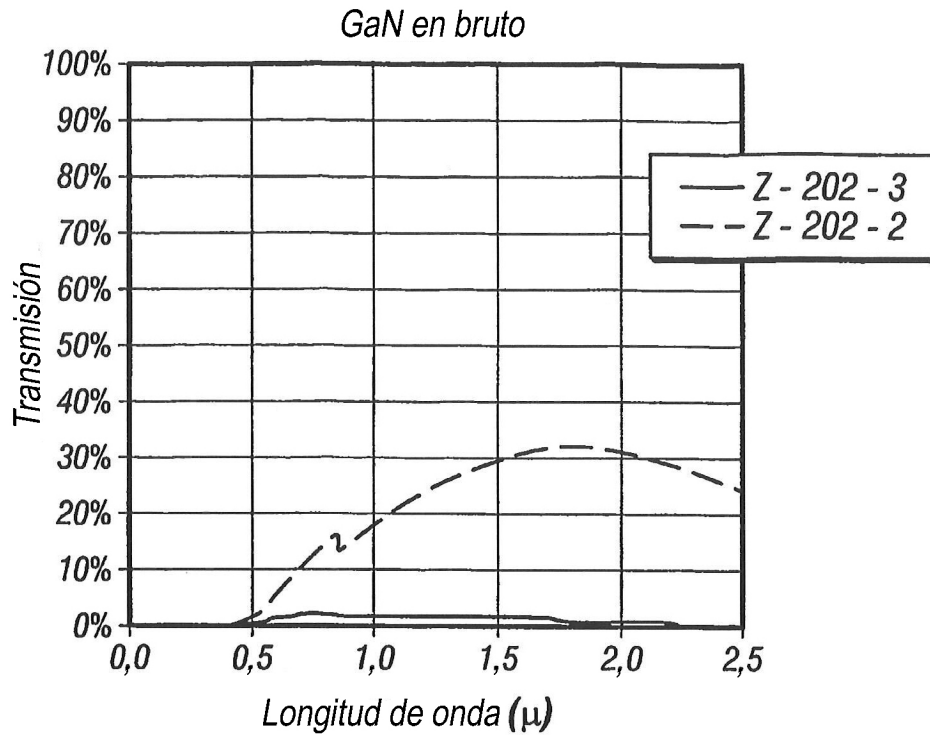


FIG. 7B



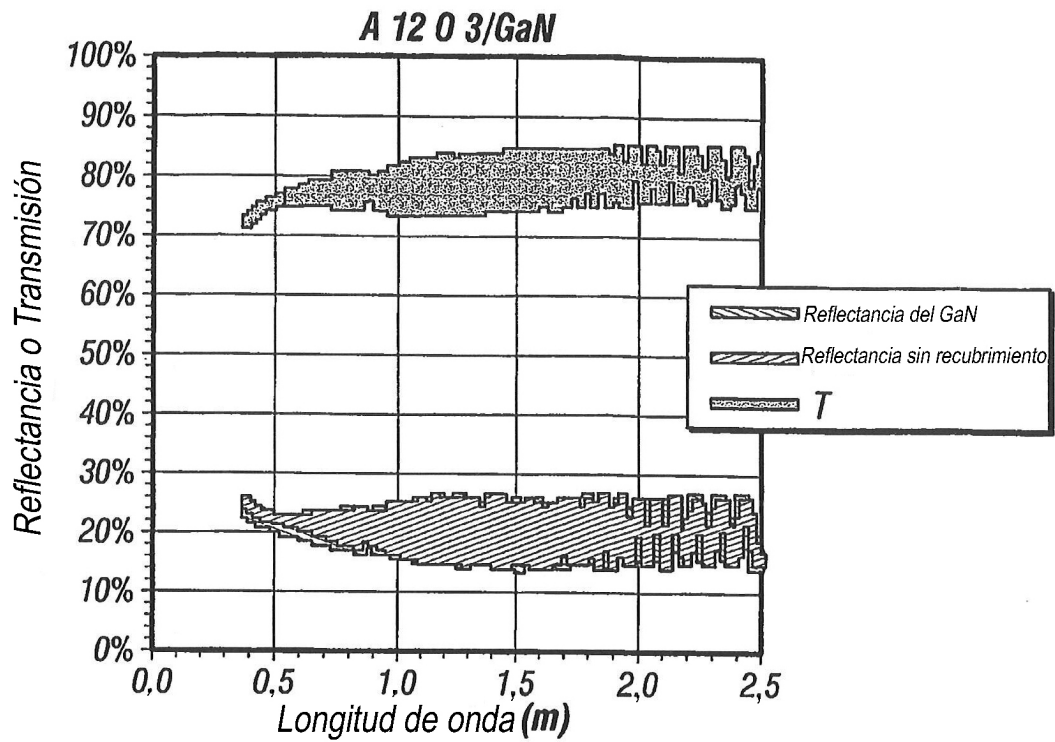


FIG. 9A

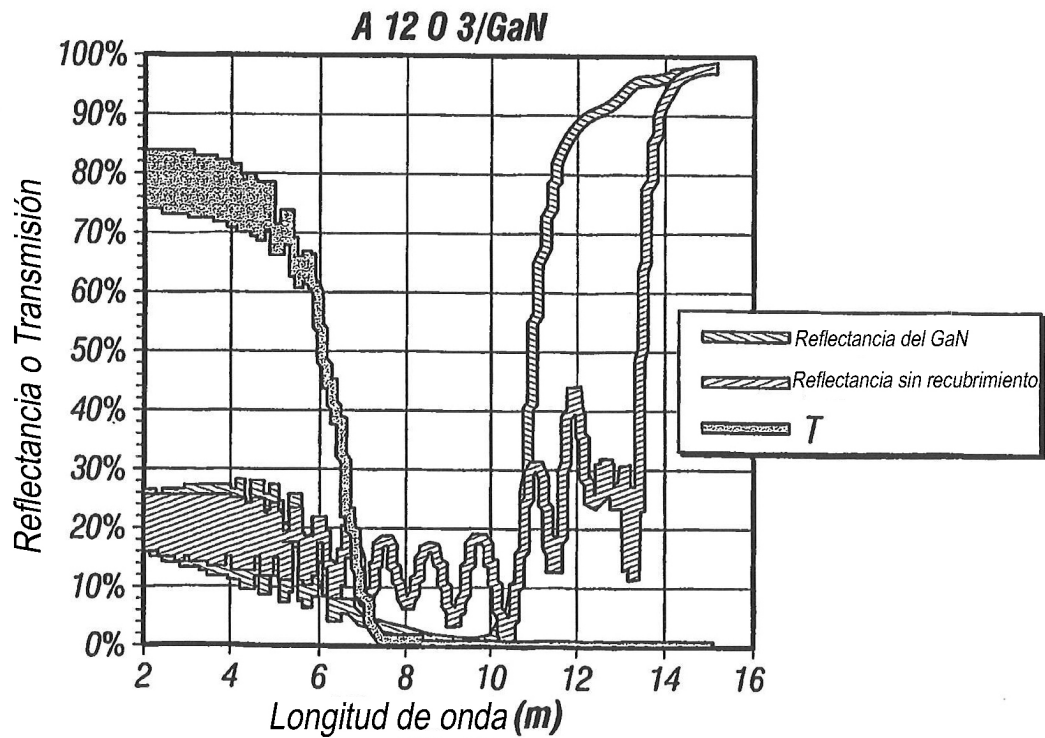


FIG. 9B

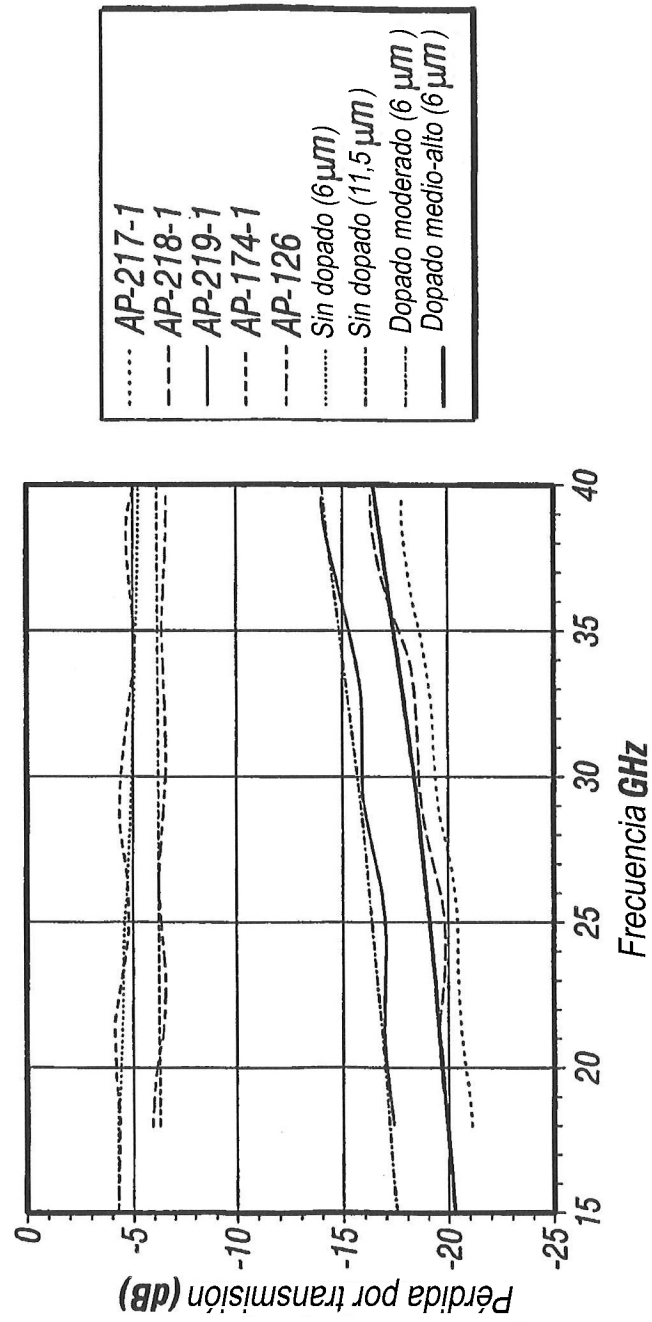


FIG. 10

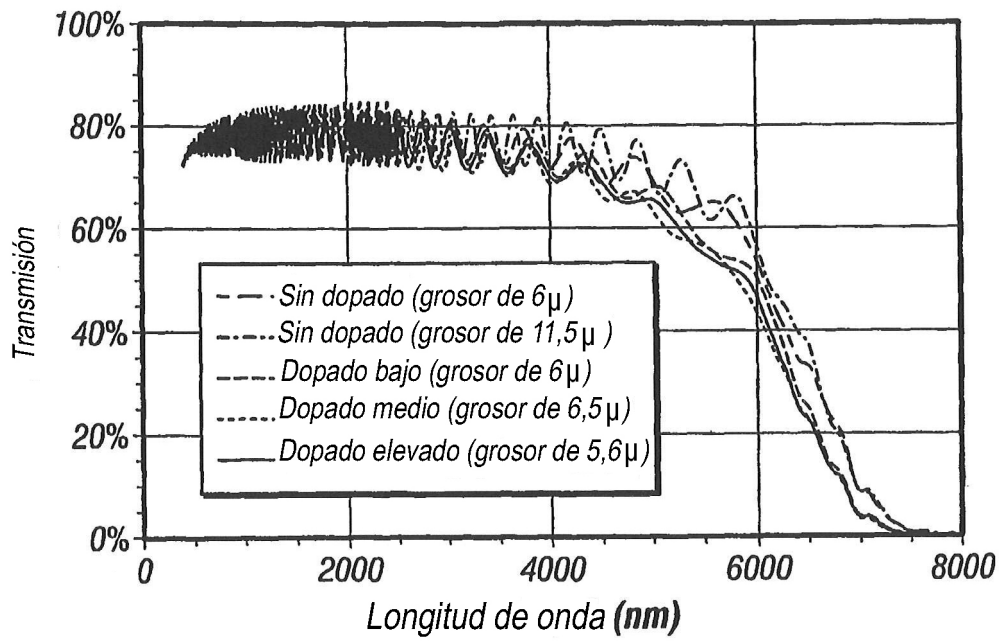


FIG. 11