



ESPAÑA

20 NOV. 1978

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

NUMERO	462.375
FECHA DE PRESENTACION	15.9.77

A1

PATENTE DE INVENCION

20 PRIORIDADES: 31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
723.857	16.9.76	EE.UU.

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	F24J	

54 TITULO DE LA INVENCION
"UN DISPOSITIVO ABSORBEDOR DE FOTONES"

71 SOLICITANTE (S)
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (IBM Docket)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
Armonk, N.Y. 10504, Estados Unidos de América

72 INVENTOR (ES)
Jerome J. Cuomo, Thomas H. Distefano y Jerry M. Woodall

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE
D. ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (P.- 66.621)

ANTECEDENTES DEL INVENTO

5 El rendimiento de conversión de energía fotónica en energía térmica depende de la relación de la porción de la energía fotónica absorbida a la porción de calor que es emitida o reflejada. Los metales que tienen buenas propiedades térmicas absorben o son opacos esencialmente a todas las longitudes de onda, mientras que al mismo tiempo reflejan también gran parte de la energía a la cual están expuestos. En general, las superficies altamente reflectantes tienen tanto un bajo poder absorbente como una baja emisividad. Puesto que el poder absorbente y emisividad están interrelacionados, la técnica se ha desarrollado así hasta ahora según criterios de estructuras de capas múltiples, donde una capa tiene una propiedad deseable y otra capa tiene otra propiedad deseable. Un ejemplo de tal estructura está expuesto en la Patente Norteamericana 3.920.413. Sin embargo, tales estructuras están sometidas a limitaciones estructurales por cuanto el efecto de una capa puede interferir con el aprovechamiento óptimo de otra. Además, la fabricación de estructuras multicapa supone frecuentemente muchas consideraciones de tratamiento en la fabricación.

DESCRIPCION DEL INVENTO

25 El invento implica una región de superficie de control de la reflectividad para materiales absorbedores o absorbentes de fotones, tal que la reflexión de la superficie de material absorbente de fotones es atenuada y reflejada por el funcionamiento de los criterios seleccionados del límite de contorno de la región de superficie de

control de radiación de modo que el efecto de reflexión ne
ta resulta fuertemente restringido. El tungsteno oxidado
anódicamente con un tipo particular de superficie rugosa
puede cumplir los criterios del invento de modo que se tie
5 ne como resultado un absorbedor de fotones superior y un
convertidor de energía solar superior.

REFERENCIA A SOLICITUDES RELACIONADAS

En la solicitud norteamericana en tramitación
10 número de serie 515.780 presentada el 18 de octubre de
1974 se crea una nueva superficie que consiste en un traza
do geométrico de protrusiones aciculares alineadas cuyas
dimensiones y separación están relacionadas con una longi-
tud de onda de luz visible. El material de la solicitud
15 norteamericana en tramitación número de serie 515.780 pre-
sentada el 18 de octubre de 1974 crea un absorbedor de
energía fotónica mas eficiente de lo que se ha conocido
hasta ahora en la técnica y cuando está aplicada al mismo
la región de superficie de control de reflectividad se pro
20 duce un absorbedor de energía fotónica aún más mejorado,
que puede absorber el 99,94% de luz incidente para una lon-
gitud de onda particular.

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

25 La figura 1 es una vista esquemática del fun-
cionamiento óptico del invento.

La figura 2 es una fotomicrografía de una su-
perficie de tungsteno del tipo de montículos.

30 La figura 3 es una fotomicrografía de una su-
perficie de tungsteno del tipo dendrítico.

La figura 4 es una representación gráfica cartesiana de longitud de onda en función de reflectancia e ilustra el efecto del invento sobre tres tipos de superficies.

5 La figura 5 es una representación gráfica cartesiana de la longitud de onda de la luz en función de la reflectancia, que ilustra el efecto del invento sobre la reflectancia para varios ángulos de incidencia de la luz.

10 La figura 6 es una representación gráfica cartesiana del espesor de la región de superficie de óxido de tungsteno sobre tungsteno en función de la longitud de onda en el máximo de absorción.

DESCRIPCION DETALLADA DEL INVENTO

15 El rendimiento de conversión de energía luminosa en calor puede expresarse como:

Ecuación 1

$$20 \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Energía absorbida-energía radiada nuevamente}}{\text{Energía-in.}}$$

25 Con referencia a la figura 1, se presenta una vista esquemática que representa el efecto del invento sobre la absorción y reflexión de luz. En la figura 1 está representada una región 1 de superficie de control de radiación como un material transparente para la longitud de onda deseada que tiene una superficie 2 paralela a la superficie 3 del material absorbente de fotones y que tiene un espesor 4 relacionado con la longitud de onda de la luz in-

30 cidente. Las especificaciones ópticas y físicas de la re-

gión de superficie de control de reflexión están interrelacionadas como se expone posteriormente.

Para fines de definición, el término reflexión significa energía que incide y es retornada sin penetrar en el material, en contraste con reradiación en donde la energía entra en el material y es emitida por el material en virtud de un cambio en la temperatura de la energía del material.

En la figura 1 la luz que incide sobre la superficie 2 tiene una componente 5 de reflectividad inicial y una serie de componentes subsiguientes decrecientes, tres de las cuales están ilustradas como elementos 6, 7 y 8. En funcionamiento, la luz reflejada por la superficie 3 es aumentada o disminuida por interferencia con la luz que retorna de la superficie 2 procedente de una reflexión anterior.

La siguiente descripción está expuesta utilizando un óxido de un material metálico absorbente de fotones como ilustración, aunque resultará evidente a la luz de los principios descritos que pueden disponerse para conseguir las propiedades deseadas recubrimientos diferentes a los óxidos así como materiales diferentes de la composición del metal base.

En la figura 1 el primer coeficiente de reflexión (elemento 5) puede expresarse del modo siguiente:
Ecuación 2

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de reflexión inicial (elemento 5)} &= (R_1)^{1/2} = \\ &= \frac{1 - N_0}{1 + N_0} \end{aligned}$$

donde R_1 es la reflectividad de aire a óxido
y N_0 es el índice de refracción del óxido.

Similarmente, el coeficiente de reflexión del
elemento 6 puede expresarse por la ecuación 3.

5

Ecuación 3

Coeficiente de reflexión del elemento 6 = $(R_2)^{1/2} =$

$$= \frac{-N_m + N_0 - i k m}{N_m + N_0 + i k m}$$

10

donde R_2 es la reflectividad de óxido a metal.

N_m es el índice de refracción del metal.

K_m es el coeficiente de extinción del
óxido.

i es $\sqrt{-1}$.

15

De este modo, la relación de coeficientes de re-
flexión para las componentes 5, 6, 7 y 8, etc, es la siguien-
te:

20

$$\begin{aligned} 5 &= r_1 \\ 6 &= r_2 (1 - r_1^2) \\ 7 &= r_2^2 r_1 (1 - r_1^2) \\ 8 &= r_2^3 r_1^2 (1 - r_1^2) \end{aligned}$$

25

Por tanto, la reflectividad de la superficie 1
de control corresponde a lo expresado en la ecuación 4

$$\text{Ecuación 4} \quad R_{\text{TOTAL}} = \left| r_1 + r_2 e^{4\pi e d/\lambda} \frac{1 - r_1^2}{1 - r_1 r_2} \right|^2$$

30

donde d es el espesor 4

y λ es la longitud de onda
y $||$ indica valores absolutos.

Ecuación 5

5

$$\left| \left| r_1 \right| - \left| r_2 \frac{1-r^2}{1-r_1 r_2} \right| \right|^2 < \text{REFLECTIVIDAD} \\ \sim \text{DESEADA PARA } \lambda \text{ MIN.}$$

Esto es aproximadamente

10

Ecuación 6

$$\left| \left| r_1 \right| - \left| r_2 \right| \right|^2 < \text{REFLECTIVIDAD} \\ \sim \text{DESEADA PARA } \lambda \text{ MIN.}$$

15

Para aplicaciones que implican la conversión de energía solar en calor la reflectividad deseada para longitud de onda mínima ($\lambda \text{ MIN}$) deberá ser inferior a 0,05.

20

La meta deseable es que R_{TOTAL} sea lo más pequeña posible y que la reflectividad de la superficie 2 sea casi igual a la reflectividad de la superficie 3.

Los criterios para una región 1 de superficie de control de radiación para una longitud de onda deseada pueden expresarse como sigue:

25

Ecuación 7

$$\left| \left| \frac{1 - N_o}{1 + N_o} \right| - \left| \frac{N_m - N_o - i K_m}{N_m + N_o + i K_m} \right| \right|^2 < \text{REFLECTIVIDAD} \\ \sim \text{DESEADA PARA } \lambda \text{ MIN.}$$

30

En esencia, como puede verse por la ecuación 7, los criterios de la región de superficie de control de reflexión del invento funcionan para igualar el efecto de las componentes de reflexión de la superficie 3 con el de la reflexión inicial de la luz incidente procedente de la superficie 2.

El espesor d in (elemento 4 en la figura 1) entra en consideración de dos maneras. Es parte de los cálculos de la ecuación 4 que establece la reflectividad deseada para la longitud de onda del mínimo, y después, como se describirá en la figura 6, permite el desplazamiento del mínimo de longitud de onda.

En tal relación se pone de manifiesto que una meta deseable es absorber toda la radiación en la banda deseada de longitudes de onda para reflejar todas las longitudes de onda no deseadas, y mantener en un mínimo la energía de longitud de onda deseada que se refleja. Esto se realiza de acuerdo con el invento disponiendo una región de superficie de control de reflexión selectiva según la longitud de onda en la superficie de un material absorbente de fotones tal que la reflectividad del aire a la región 1, el espesor y contorno, el índice de refracción de la región 1 y el índice y coeficiente de extinción del material absorbente de fotones, cooperan para limitar la luz reflejada por el material absorbente de fotones.

El trazado de la superficie está escogido mejor de modo que sea rugoso o texturizado de modo que la luz que incide normalmente a la superficie debe sufrir sustancialmente más de una reflexión antes de que pueda escapar de la superficie. Esta superficie rugosa o texturizada, en

combinación con la capa de control de reflexión, produce un factor de absorción que es superior y que cubre una banda de longitudes de onda mayor que un simple recubrimiento anti-reflectante sobre un metal liso. Por ejemplo, un recubrimiento anti-reflectante sobre un metal liso tiene una reflectancia R_{TOTAL} que varía con la longitud de onda, mientras que un recubrimiento anti-reflectante sobre una superficie rugosa o texturizada en la cual la luz sufre dos reflexiones antes de ser retornada tiene una reflectancia de R_{TOTAL}^2 , que es inferior a R_{TOTAL} .

La región de control de reflexión puede ser contrastada con recubrimientos pasivadores por el hecho de que en el recubrimiento pasivador el primer interés en la protección química de inercia y por consiguiente la elección de los materiales está orientada a este fin.

Con referencia a continuación a las figuras 2 y 3, están representadas fotomicrografías de superficies de tungsteno que tienen, respectivamente, grados crecientes de poder de absorción. La superficie de la figura 2 se conoce en la técnica como superficie de montículos y la superficie de la figura 3 es conocida como superficie dendrítica, como se expone en la solicitud norteamericana en tramitación a que se ha hecho referencia. Ambas superficies se preparan mediante el procedimiento de deposición química en fase de vapor, bien conocido en la técnica. La estructura de montículos es mucho más delgada que la estructura dendrítica y por tanto es menos costosa. El grado de ampliación está representado sobre la fotomicrografía. La región de superficie de control de radiación del invento, cuando se fabrica en combinación con superficies tales como las su

perfiles del tipo de las figuras 2 y 3 y en combinación con una superficie plana no ilustrada, origina una disminución abrupta en la reflectividad total para una longitud de onda particular que es seleccionable de acuerdo con los criterios expuestos anteriormente.

Esto está ilustrado en el gráfico de la figura 4 en donde está representada la Reflectancia Total para la luz normalmente incidente en función de la longitud de onda en micras. Están representadas tres curvas. Se representa una curva de puntos para tungsteno plano, una curva de trazos para el material de estructura de montículos representado en la figura 2, y la curva de trazo continuo corresponde al material dendrítico de la figura 3. Se observará que la región de superficie de control de radiación de acuerdo con el invento produce un pico en la absorción en longitudes de onda próximas a 0,62 micras. Se acepta en la técnica que esta longitud de onda está situada o es próxima al pico de emisividad solar.

En la escala logarítmica de la figura 4 puede verse que el material dendrítico de la figura 3 cuando está provisto de la región de superficie de control de radiación del invento absorbe el 99,94% de la luz incidente de longitud de onda igual a 0,55 micras.

Con referencia a continuación a la figura 5, se representa el efecto del invento para direcciones variables de luz incidente sobre una superficie de estructura dendrítica.

En el gráfico de la figura 5 está representada la reflectividad total en función de la longitud de onda en nanómetros para 0° , 20° , 40° , 60° y 80° de ángulo de

incidencia de la luz. En cada caso aparece el pico de absorción aproximadamente en la misma longitud de onda.

De acuerdo con el invento, la fabricación de la región 1 de superficie de control de reflexión de la figura 1 se realiza habilitando el material de la región 1 con contorno adaptado a la configuración superficial del material absorbente de fotones, con los parámetros deseados, que son: el coeficiente de reflexión de la superficie 2 del material de la región 1 es aproximadamente igual al coeficiente de reflexión de la interzona 3 entre el material absorbente de fotones y la región 1. Estos coeficientes de reflectividad están relacionados con el índice de refracción del material de la región 1, con el índice de refracción del material absorbente de fotones y con el coeficiente de extinción del material absorbente de fotones. Estos son parámetros bien establecidos en la técnica y están disponibles en la mayoría de los manuales normales. Con el fin de hacer posible que un experto en la técnica reduzca al mínimo la experimentación, se dan en la tabla I, sin embargo, un conjunto de valores específicos para las ecuaciones 2-7 correspondientes al material WO_3 como región 1 de superficie de control de radiación sobre estructura dendrítica W, como se representa en la figura 3.

25

30

21097



TABLA I

	W	WO ₃	W - WO ₃	
5	n	3,43	2,26	---
	k	2,96	0,0	---
	r ₁	---	---	0,386
	r ₂	---	---	0,496
10	$\left \left r_1 \right - \left r_2 \right \right ^2$	---	---	0,012

La fabricación de la región 1 de superficie de control de radiación es particularmente adaptable a procesos que forman compuestos químicos del material absorbente de fotones. Tales procesos utilizan el material del absorbente de fotones como un componente, lo dan forma en un contorno de adaptación conforme con la superficie y son en general fácilmente controlables para la gama de espesores deseada de la región de control de superficie. Algunos ejemplos de tales procedimientos son el anodizado u oxidación, la nitruración y la carburación. Una solución de fabricación particularmente controlable es la técnica de anodizado en donde el material absorbente de fotones y la región formada responden así a los criterios del invento expuestos anteriormente. En esta técnica se forma frecuentemente un óxido que limita el flujo de corriente, de modo que el espesor de la región está correlacionado con precisión con la tensión. Algunos metales que forman óxidos ventajosos útiles de acuerdo con el invento son el W, Mo, Hf,

V, Ta y Nb.

Nuevamente, con el fin de facilitar la práctica del invento, la tabla 2 expone la relación entre la dimensión 4 de espesor de la figura 1 y la tensión de anodizado para el material WO_3 sobre W.

TABLA 2

TENSION en voltios*	ESPESOR en μm
20	0,035
25	0,045
30	0,055
35	0,065
40	0,075

Como ilustración de las ventajas espectaculares del invento, se dan los siguientes resultados de pruebas de una realización particular.

Una superficie de tungsteno con superficie de montículos como se ilustra en la figura 2 fué anodizada en un baño de ácido fosfórico a una tensión de 30 V. En esta técnica la región de WO_3 detiene la reacción anódica a un espesor específico que está controlado por la tensión aplicada. La relación entre el "poder de absorción" a la radiación incidente y la emisividad hemisférica, en otras palabras, el parámetro (α/ϵ) para esta superficie a $150^\circ C$ es de 3,9. En la tabla siguiente el rendimiento calculado por la ecuación 1 para esta superficie se compara con el de un cuerpo negro normalizado para temperaturas variables.

TABLA 3

5	RENDIMIENTO EN %		RERADIACION EN VATIOS POR CM ²		
	T	TUNGSTENO	CUERPO NEGRO	TUNGSTENO	CUERPO NEGRO
	50°C	80%	32%	0,015	0,063
	75°C	75%	12%	0,020	0,083
	100°C	68%	0	0,027	0,1125
10	150°C	51%	0	0,044	> 0,1
	200°C	26%	0	0,069	> 0,1

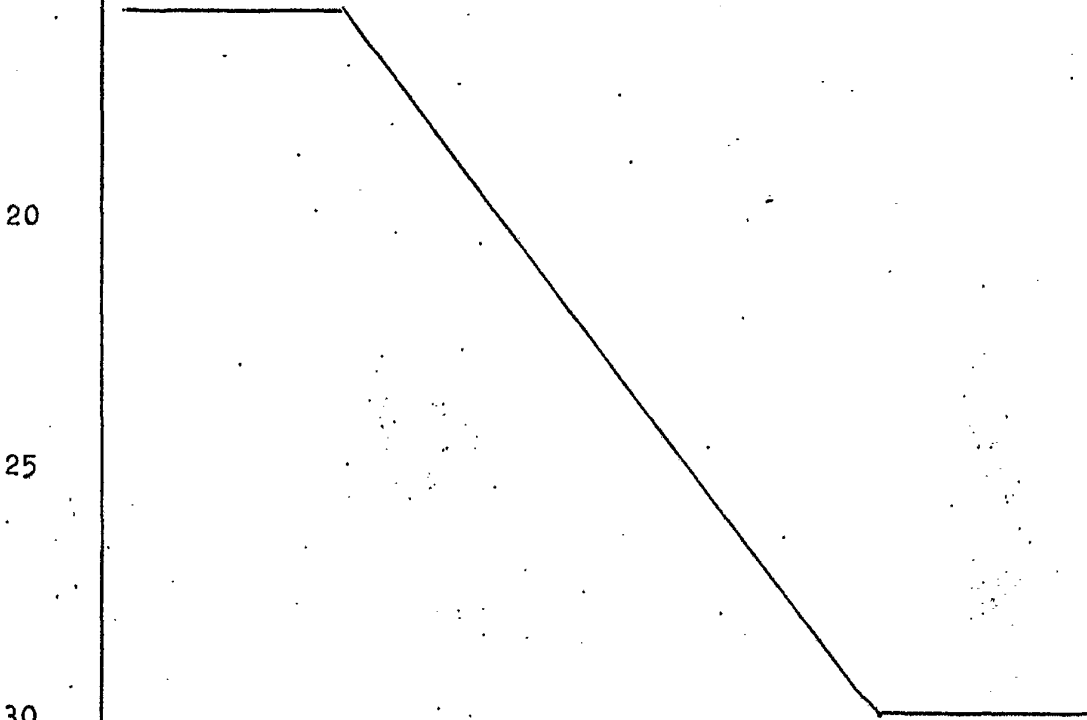
15 Puede verse por la tabla que los rendimientos superiores al 50% se consiguen para temperaturas de hasta 150°.

20 Una de las ventajas principales es que la técnica del invento hace ahora posible un nuevo material absorbente de fotones por cuanto pueden ahora aplicarse las ventajas de los recubrimientos anti-reflectantes a substratos que tienen propiedades absorbentes de fotones derivadas de irregularidades superficiales.

25 Para la mayoría de las aplicaciones de conversión de energía solar es deseable disponer de absorbentes de fotones que absorban mas del 90% del espectro solar. No pueden conseguir este resultado los revestimientos de metal plano, de metal rugoso ni los anti-reflectantes simples dispuestos sobre ellos. Sin embargo, en combinación con la región de superficie de control de reflexión del invento
30 aplicada a tipos particulares de superficies metálicas tex

turizadas o rugosas, tales como el tungsteno, pueden conseguirse una reflectancia baja sobre una amplia región espectral. Se ha encontrado que proporcionan el factor de absorción deseado para el espectro solar superficies texturizadas o rugosas en donde la luz incidente normal experimenta reflexiones múltiples fuera de la superficie de la capa de control de reflexión. En contraste, los recubrimientos anti-reflectantes sobre metales lisos tienen un factor de absorción que cubre solamente una pequeña porción del espectro solar.

Aun cuando el invento ha sido expuesto en combinación con una realización específica de tungsteno anodizado, resultará evidente para los expertos en la técnica que pueden ponerse en práctica muchas realizaciones específicas a la luz de los principios expuestos.



1

REIVINDICACIONES

5

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10

1ª.- Un dispositivo absorbedor de fotones que comprende un substrato absorbente y una superficie de control de reflexión, caracterizado porque el índice de refracción de una capa transparente, el espesor de la capa, el índice de extinción de la superficie y el contorno de la superficie se seleccionan cada uno de manera que reduzcan al mínimo la reflexión en un campo espectral.

15

2ª.- Un dispositivo según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el material del substrato es tungsteno y la región de superficie de control de reflexión es óxido de tungsteno.

20

3ª.- Un dispositivo según la reivindicación 2ª, caracterizado porque la capa de control de reflexión es de óxido de tungsteno anodizado.

25

4ª.- Un dispositivo según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el contorno de la superficie del cuerpo asegura reflexiones múltiples de luz incidente.

5ª.- Un dispositivo según la reivindicación 4ª, caracterizado porque el material es tungsteno con estructura de montículos.

30

6ª.- Un dispositivo según la reivindicación 4ª,

1 caracterizado porque el material de la superficie es tungsteno de estructura dendrítica.

7a.- UN DISPOSITIVO ABSORBEDOR DE FOTONES.

5 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

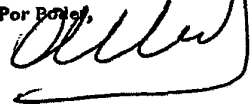
Esta Memoria consta de DIECISEIS hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 28 JUN 1978

10

P.A.

Alberto de Elzaburo
Por D.º



15

20

25

30

230678

VAL



FIG. 1

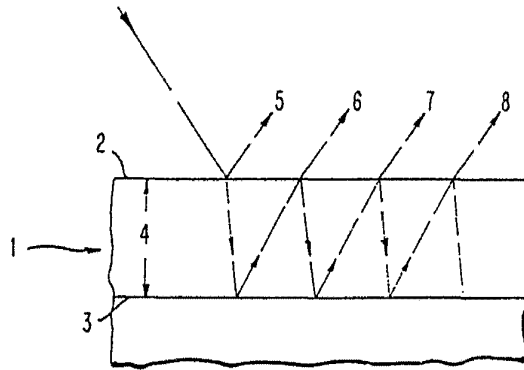
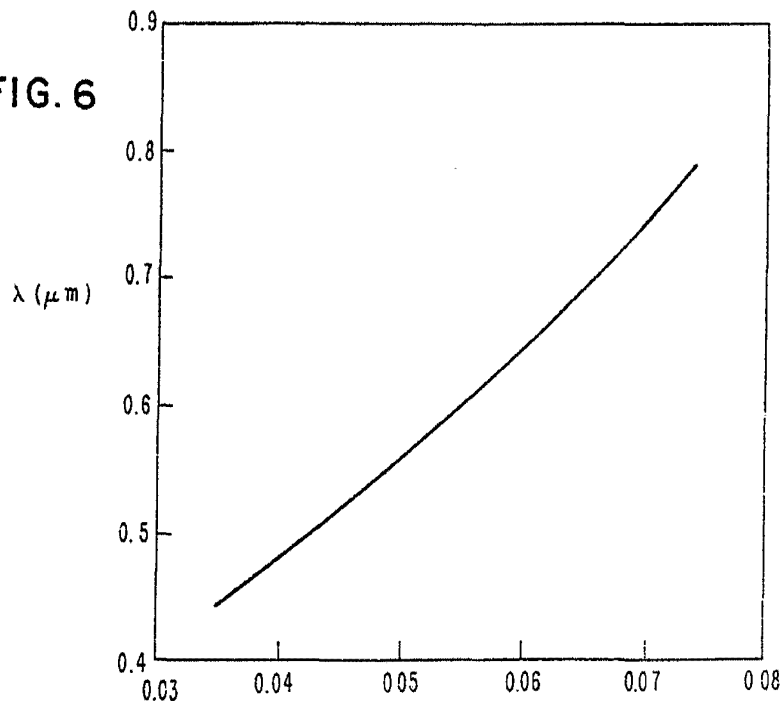


FIG. 6



Alberto de Elzaburu
Por Pedern

FIG. 2

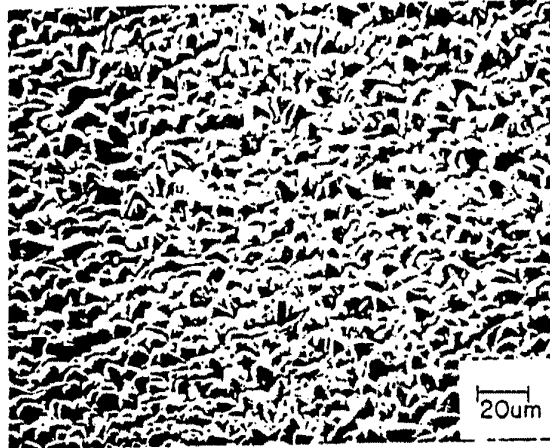
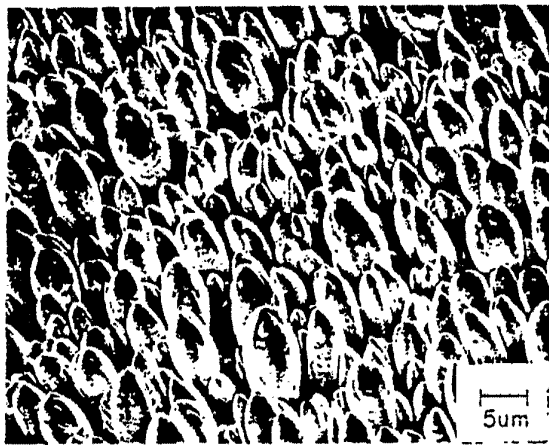
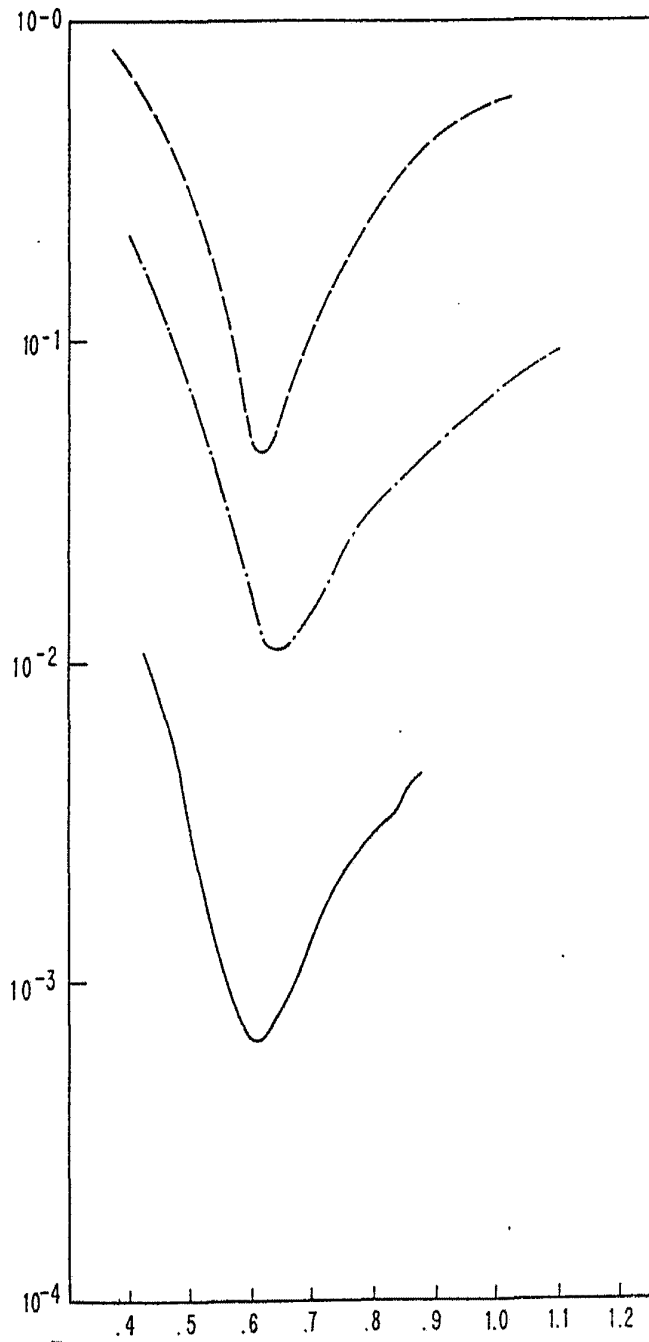


FIG. 3



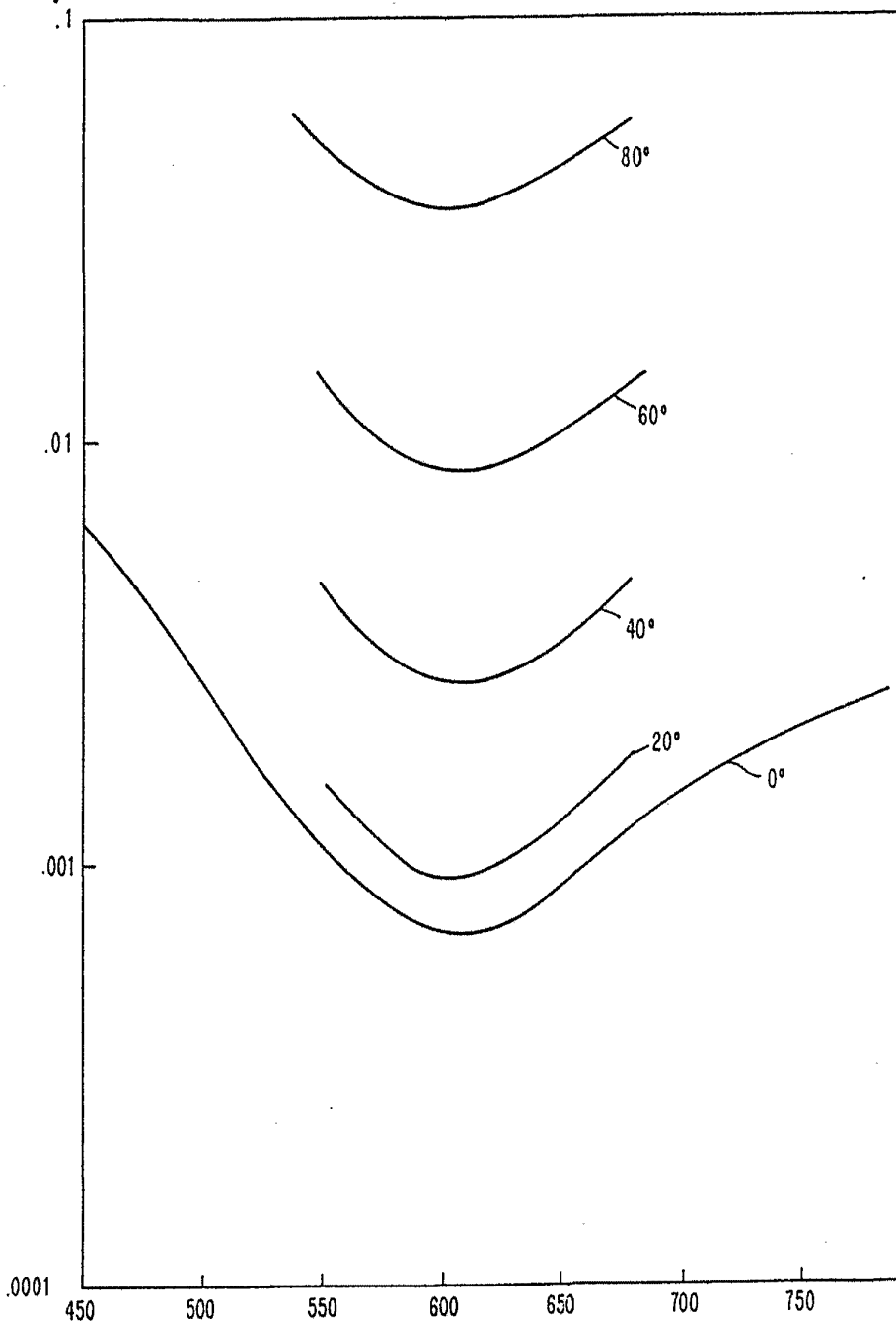
Alberto de Elizabet
Por Pedro

FIG. 4



Alberto de Elizaburu
For Director

FIG. 5



Alberto de Elizabete
Per Peder,