

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

10 ES

11

12

13

NUMERO
4507800
FECHA DE PRESENTACION
20 AGO. 1976

14 A1

**PATENTE DE INVENCION**

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
Ser. No. 606.365	21 de Agosto de 1.975	EE.UU. de América
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	52 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G 01 K	
54 TITULO DE LA INVENCION		
PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION SIN CONTACTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE UNA LAMINILLA.		
71 SOLICITANTE (S)		
WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED.		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
195 Broadway, New York, 10007, Estados Unidos de América.		
72 INVENTOR (ES)		
GABRIEL LORIMER MILLER, DAVID ARTHUR HALL ROBINSON, JOHN DUNCAN WILEY		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
GOMEZ-ACEBO.		

El invento se refiere a la medición sin contacto de la conductividad eléctrica de una laminilla, por ejemplo una oblea semiconductoras ó una delgadapelícula metálica.

5 La capacidad para poder medir con rapidez y precisión la conductividad eléctrica de muestras planas delgadas (laminillas) es de importancia crítica en muchos aspectos de la elaboración de dispositivos de estado sólido. Dichas mediciones son partes esenciales de la clasificación de materiales de substratos semiconductores antes de la elaboración, para la verificación de difusiones adulterantes y la verificación de deposiciones laminares delgadas metálicas. La técnica de medición empleada con mayor profusión es el método de sonda de cuatro puntas. No obstante, este método tiene varias limitaciones; por ejemplo, es difícil interpretar los resultados de dicha medición realizada sobre muestras semiconductoras de elevada resistividad. Además, la sonda produce deterioro superficial localizado en el punto de contacto. Dicho deterioro superficial puede ser cada vez más perjudicial a medida que el tamaño de los elementos de circuitos de microminiatura se vuelve menor. Se han desarrollado diversas técnicas para la medición sin contacto de la conductividad eléctrica en un esfuerzo para evitar las limitaciones que tiene la técnica de la sonda de cuatro puntas. Estos métodos comprenden, en general, la interacción de la muestra que se mide con excitaciones de alta frecuencia. Las técnicas de esta clase, que sirven de ejemplo, comprenden: mediciones por transmisión de microondas a través de una placa semiconductoras colocada en un guía-ondas (H. Jacobs et al. Proceedings of the IRE, 49 (1961) 928) reflexión de una señal de radiofrecuencia desde una línea coaxial que termina en la muestra. (C.M. Bryant et al, Reviews of Scientific Instruments, 36 (1.965) 1614), y acoplamiento capacitivo y acoplamiento inductivo a un circuito resonante (N. Nuyamoto et al, Re-

10

15

20

25

30

views of Scientific Instruments, 38 (1.967) 360; J. C. Brice et al, Journal of Scientific Instruments, 38 (1.961) 307). Dichos métodos producen normalmente señales de salida alineales que exigen calibración en la gama de utilización y comparación de las señales de medición con la curva de calibración. Además, dichas mediciones utilizan normalmente algún volumen de medición definido de una forma relativamente deficiente (v.g., aproximadamente esférica), que puede ser totalmente satisfactoria para la medición de muestras uniformemente conductoras; no obstante, aumentan la complejidad del análisis de las mediciones de muestras desuniforme (v.g., capas d fundidas en semiconductores).

Según este invento se ha desarrollado una técnica de medición sin contacto para la medición de la conductividad eléctrica de muestras planas delgadas (laminillas) como son las obleas semiconductoras ó películas delgadas metálicas. Esta técnica produce una señal de salida altamente lineal y mide las portadoras de conducción uniformemente en todo el espesor del material. Este alto grado de linealidad junto con la capacidad para controlar el nivel de la señal de salida, se pueden utilizar para producir la lectura directa de la conductividad, por ejemplo, sobre un voltímetro digital. Esta capacidad hace que la técnica del invento sea particularmente atractiva para la verificación de la producción en cadena de difusiones y deposiciones en sustratos en la elaboración de dispositivos electrónicos.

En la técnica del invento, la muestra se introduce en el campo magnético del elemento inductivo de un circuito resonante y la corriente activadora del resonador se ajusta para restablecer la amplitud de la oscilación al valor que tenía antes de la introducción de la muestra. Si la frecuencia de oscilación se elige para que el efecto superficial sea imperceptible, y si el resonador

es el elemento determinante de la frecuencia del circuito de oscilación, entonces la corriente incremental se relaciona linealmente con la conductividad laminar de la muestra. En un aparato que sirve de ejemplo y que se ha construido para ilustrar esta técnica de medición, se utiliza realimentación para restablecer automáticamente la amplitud de oscilación. Este aparato que sirve de ejemplo es lineal dentro de aproximadamente un 1% sobre una gama de 100 a 1 de conductividad con una resolución de aproximadamente una parte en 104. La sensibilidad limitada del instrumento era de  $10^{11}$  portadores por  $cm^2$ .

Las ventajas y detalles de la invención se harán evidentes en el transcurso de la descripción que a título ilustrativo, se hace de una modalidad de preferencia, y con relación a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1, es una representación esquemática de los elementos básicos de un dispositivo para la práctica del método reivindicado.

La figura 2, es un diagrama de circuito de una red que sirve de ejemplo desarrollada para la práctica del procedimiento reivindicado.

La figura 3 es una vista en alzado y en sección de un inductor con muestra, que sirve de ejemplo.

La figura 4 es una vista en perspectiva despiezada de las piezas mecánicas de un aparato, que sirve de ejemplo desarrollado para la práctica del procedimiento reivindicado; y

La figura 5 es una curva de la conductividad laminar (ordenada en voltios) contra la señal de salida (abscisa) que ilustra la linealidad del procedimiento del invento.

La medición de la conductividad eléctrica (ó resistividad) de cuerpos sólidos delgados y anchos es de importancia principal -

En muchas facetas de la elaboración de dispositivos de estado sólido. Por ejemplo, suele ser necesario clasificar los substratos semiconductores antes de elaborarlos, para tener la seguridad de que la conductividad de los substratos sea menor que un valor bajo especificado ó esté dentro de una cierta gama de conductividad estrecha. Durante la elaboración, suele ser necesario verificar las fases de difusión para determinar cuando la conductividad de las obleas difundidas ha aumentado ó se ha reducido a cierta conductividad dentro de una gama estrecha, que está relacionada con la concentración y profundidad de difusión deseada del adulterante. Muchas difusiones se producen a través de capas enmascarantes con aberturas. En tales casos, una oblea sin elaborar se puede incluir para fines de verificación. Muchos procedimientos de elaboración de dispositivos de estado sólido comprenden la deposición de capas metálicas para la producción de contacto eléctrico entre dispositivos en un circuito integrado ó entre el circuito y la circuitería externa. En tales casos, la capa debe ser más gruesa que un cierto espesor mínimo con el fin de conseguir una conductividad suficiente, pero no innecesariamente gruesa, porque podría suponer un desperdicio de los metales preciosos utilizados como son el oro y el platino. Por lo tanto, la verificación de los espesores de las capas metálicas ha pasado a ser una fase de la elaboración importantes.

El método empleado con más profusión para realizar las mediciones de conductividad requeridas es la técnica de la sonda de cuatro puntas. No obstante, cuando se trata de materiales semiconductores de baja conductividad con grandes espacios de banda, dichos métodos resultan extraordinariamente difíciles puesto que los contactos entre la oblea que se mide y los elementos de contacto de la sonda de cuatro puntas tiende a la rectificación. Así mismo, al

gunas difusiones tienen lugar a través de capas vítreas con lo que resulta difícil hacer contacto con el semiconductor subyacente. La sonda de cuatro puntas puesto que hace directamente contacto con el material, produce un deterioro localizado. El área deteriorada puede ser inapropiada para el uso, particularmente en dispositivos con un tamaño de elementos pequeños. Las consideraciones anteriores han dado lugar al desarrollo de un método de medición sin contacto particularmente conveniente.

El método de medición sin contacto descrito en la presente memoria para la medición de la conductividad eléctrica de laminillas conductoras, produce una señal de salida altamente lineal. Esto hace posible, por ejemplo, una calibración de un solo punto y, con la disponibilidad del ajuste de nivel de la señal, resulta posible la lectura directa de la conductividad en un voltímetro digital. El método de medición se comprenderá al tomar como referencia la figura 1 que representa una laminilla conductiva 11 acoplada magnéticamente, por medio de un núcleo de ferrita 12, a un circuito resonante paralelo de L+C 13. Este circuito resonante paralelo 13 se activa por medio de un generador de corriente de RF 14. La operación del método de medición depende del hecho de que la absorción de corriente de Foucault en la laminilla conductora 11 produce un aumento en la pérdida del circuito resonante 13. Se ha determinado que, si el circuito resonante 13 determina la frecuencia de oscilación por lo que la frecuencia se desplaza con la carga del circuito 13 y se elige la frecuencia de oscilación de forma que el efecto superficial en la laminilla sea imperceptible, y el generador de corriente 14 se ajusta para restablecer la amplitud de oscilación después de la introducción de la muestra, entonces la corriente incremental que fluye desde el generador de corriente 14 al circuito resonante 13 se relaciona de una forma lineal con el producto de -

la conductividad masiva del material conductor multiplicada por el espesor del material. Este producto se denomina a veces como conductividad laminar de la muestra y está relacionada con el producto del número de portadores en el volúmen medido y la movilidad de los portadores. En el régimen de frecuencias del efecto superficial imperceptible el producto de la conductividad multiplicado por el espesor se generaliza a la integral de la conductividad a través del espesor, por lo que se pueden analizar fácilmente los datos para muestras desuniformes. La relación básica que gobierna el proceso de medición es:

$$I = K ( E/n^2 ) \delta t \quad \text{(Ecuación 1).}$$

En esta ecuación, suponiendo que no haya pérdidas de circuitos excepto la de la laminilla, I es la corriente de frecuencia oscilante que fluye en el resonador, K es una constante que comprende el acoplamiento magnético entre el núcleo inductor y la laminilla, E es el voltaje de frecuencia oscilante a través del resonador, n es el número de espiras en el inductor,  $\delta$  es la conductividad eléctrica del material de la laminilla, y t es el espesor de la laminilla.

Si se consideran otras pérdidas de circuito, las pérdidas del resonador se pueden representar como una resistencia de pérdida paralela  $R_p$ . Esta resistencia de pérdida paralela consiste en dos partes, ó sea: las pérdidas del propio circuito resonante paralelo,  $R_t$  y la pérdida reflejada debido a corrientes de Foucault en la laminilla,  $R_s$ . Estas se combinan como

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_s} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

No obstante, el generador de corriente se ajusta después de la introducción de la muestra para mantener el nivel de oscilación - (v.g., el voltaje a través del circuito resonante) a un valor constante, Por lo tanto,

$$IR_p = \text{const.} \quad (\text{Ecuación 3})$$

6

$$I \text{ oc } \frac{1}{R_p} \quad (\text{Ecuación 4})$$

5

Sin carga en el semiconductor, el valor de I tiene su valor mínimo  $I_0$ , que corresponde a  $R_p = R_T$ .

Por consiguiente, las ecuaciones 3 y 4 dan:

$$(I - I_0) \text{ oc } \frac{1}{R_s} \quad (\text{Ecuación 5})$$

10

No obstante,  $\frac{1}{R_s}$  es proporcional a la conductividad laminar de la muestra, por lo tanto:

$$(I - I_0) \text{ oc } \delta T \quad (\text{Ecuación 6})$$

15

Este es el resultado utilizado para determinar la conductividad de la muestra,  $\delta$ . En el aparato empleado en este método, se puede incluir un control "cero" para desequilibrar  $I_0$  en ausencia de cualquier muestra, de modo que aparezca solamente corriente incremental como señal de salida. Además, se dispone de una técnica electrónica sencilla para no tener que depender del espesor de la muestra,  $t$ , dividiendo el espesor.

20

La figura 2 ilustra el diagrama de circuito de un aparato que sirve de ejemplo desarrollado y construido para la práctica del método del invento. A menos de que se especifique lo contrario, - los resistores son de 1/4 watio  $\pm 5\%$ . Los diodos son IN4154, los transistores NPN son 2N3904, los transistores PNP son 2N3906, los FET son 2N4393 y los amplificadores diferenciales son unidades de alta ganancia ( $\sim 10^5$  en corrientes continua, unidad a 1MHz) apropiadas para utilizarse como amplificadores operacionales (tipo 741) (Nomenclatura de Joint Electronic Device Engineering Council (JEDEC))

25

El recuadro I con contorno de líneas de puntos y rayas 21 comprende el circuito paralelo 22 y los diversos transistores que forman

30

el generador de corriente de RF. Estos elementos se organizan para formar un oscilador marginal controlable en amplitud cuya frecuencia de oscilación está determinada por el circuito resonante paralelo 22. Para medición de conductividad, la muestra que se desea medir se acopla magnéticamente al inductor 23. Una descripción del funcionamiento de este tipo de oscilador se puede hallar en Journal of Scientific Instruments, 36 (1.959) 481). Una característica del diseño del oscilador de la figura 2 es que el promedio de corriente continua que fluye a tierra en el lado opuesto a tierra del circuito resonante paralelo 22 es una medición precisa de la magnitud de la corriente activadora de la frecuencia de oscilación.

La magnitud de la oscilación del circuito resonante paralelo 22 se ajusta automáticamente por realimentación a través de la circuitería de estabilización de la casilla II cuyo contorno está delimitado por la línea de puntos y rayas 24. El nivel de oscilación en el colector del transistor 37 es detectado por el rectificador de cresta de temperatura compensada formado por los transistores 38 y 39, dando por resultado un voltaje negativo correspondiente en el emisor del transistor 39. El amplificador de error 402 detecta entonces la diferencia entre la corriente resultante que fluye en el resistor 40 y la corriente de referencia que fluye en el resistor 401. La referencia de estabilización es un diodo zener de 8 voltios 26. La amplitud de oscilación del circuito resonante paralelo es detectada, por lo tanto, a través de la toma 27 y el control de realimentación se obtiene por la toma 28. La corriente por término medio del circuito resonante de corriente continua se mide en la toma 29 por acción del amplificador 30. La circuitería de salida comprende una célula de control de ganancia 31, un interruptor de alcance 32 y una lámpara indicadora de exceso de alcance 33 que se enciende para indicar la presencia de

una muestra cuya conductividad está por encima del alcance de dos décadas de un instrumento. El amplificador 34 y un potenciómetro de 10 espiras 35, de precisión se disponen para realizar la división del espesor del material antes de la extracción de la señal de conductividad en el acceso de salida 36. La ganancia se ajusta de forma que el potenciómetro 35 tome lectura directamente en unidades convenientes del espesor de la muestra. Los componentes indicados con un asterisco tienen valores que se eligen dependiendo de la elección particular del circuito resonante paralelo de entrada  $L_1 C_1$ . Los valores indicados son aquellos para una lectura de instrumento a un voltio por  $\text{mho-cm}^{-1}$ , oscilando a aproximadamente 10 MHz, empleando una separación de 0,0635cm. entre las dos mitades del inductor 23, y conductividades de medición de la muestra en el alcance  $\sim 0,05$  a  $\sim 10 \text{ mho}^{-1}$ .

El diseño del inductor se ilustra en la figura 3. Para producir un acoplamiento fuerte, entre el campo magnético de RF y la muestra que se desea medir, se eligió el diseño del núcleo del inductor, como un núcleo acopado de ferrita dividido de elevado factor de calidad 41 con dos arrollamientos en cada mitad, dando por resultado una inductancia total de aproximadamente 1  $\mu\text{h}$ . Los núcleos empleados se caracterizan por tener una permeabilidad de  $\sim 100$  y un factor de calidad de  $\sim 100$  a la frecuencia de oscilación de 10 MHz. El número de espiras ó arrollamientos 42 se puede cambiar a 20 ó a 200, etc, para conseguir una escala de alcance correspondiente de  $10^2$  y  $10^4$ , según indica la dependencia  $\frac{1}{n^2}$  de la ecuación 1. Si  $C_1$  permanece sin cambiar, la reducción consiguiente de la frecuencia de oscilación ayuda a cumplir el criterio de efecto superficial para la medición de las muestras de conductividad más elevada 43.

El diseño del inductor comprende también copas de aluminio

sin costura 44 que reducen el campo marginal y mantienen el área -  
de medición de una forma precisa y exclusiva como la región entre  
las caras opuestas de las dos mitades del núcleo. El acoplamiento  
capacitivo a la muestra 43 se reduce al mínimo por la inclusión de  
5 un protector electrostático 45 sobre las caras de los núcleos 41.  
El protector empleado era un papel eléctricamente conductivo (dis-  
ponible de Western Union Corporation, como TELEDELTA<sup>R</sup>). El dise-  
ño mecánico de la cabeza de medición de la muestra del instrumento  
construido se ilustra en una vista desplegada en la figura 4. Los  
10 núcleos acotados 41, las bobinas 42 y las copas de aluminio 44 se  
montan en soportes de polimetilmetacrilato 46. Los soportes 46 se  
atornillan sobre la base de modo que se puedan introducir suplemen-  
tos 47 para ajustar el espacio de separación entre los núcleos con  
el fin de servir para diversos espesores de muestras 43. Los con-  
15 ductores 48 del inductor se protegen y se dirigen hacia abajo en  
la caja 49 que contienen la circuitería electrónica y se conectan  
al capacitor 50 del circuito resonante paralelo. Instrumentos si-  
milares para la medición de oblea semiconductoras de mayor conduc-  
tividad (v.g., en la gama de  $5 \text{ mho-cm}^{-1}$  a  $10^3 \text{ mho-cm}^{-1}$ ) se pueden  
20 construir con 20 arrollamientos a cada lado del núcleo acopado. La  
frecuencia de operación de dichos instrumentos es de aproximadamen-  
te  $10^6$  Hz. Para la medición de películas metálicas con un espesor  
que alcance hasta 5 micrómetros, los núcleos acopados con  $10^3$  arro-  
llamientos en cada lado, junto con un capacitor de 0,01  $\mu\text{f}$ , produ-  
cen un instrumento que oscila a aproximadamente  $10^4$  Hz. El resistor  
25 se elegiría para dar una lectura general de cero cerca del cen-  
tro del potenciómetro con puesta a cero 403 (figura 2).

La linealidad del método de medición según se incorpora en  
el instrumento descrito anteriormente, y la idoneidad del procedi-  
30 miento para la medición de muestras de capas múltiples, queda re-

lejada en el experimento siguiente: cuatro láminas de semiconductor se midieron por separado y después se superpusieron en diversas combinaciones. Los resultados de estas mediciones se ilustran para un espaciador de 1,016 mm. en la figura 5. Mediciones como éstas han demostrado que la respuesta del instrumento es lineal en toda la escala hasta aproximadamente 1%. Se utilizaron los diversos ajustes de nivel para producir una señal que se leía directamente en  $\text{mho-cm}^{-1}$  en un voltímetro digital. El aparato se calibró en un punto mediante una muestra de conductividad próxima al extremo superior de la gama de conductividad. El comportamiento de limitación del instrumento se ajustó mediante desplazamiento lento a largo plazo de orden de unos cuantos milivoltios por hora correspondientes a unas cuantas partes en  $10^{-4}$  de toda la escala del sistema en una salida de aproximadamente 10 voltios. Las lecturas eran estables y reproducibles con esta precisión. Un análisis ulterior del circuito indicó que se pueden reducir estos desplazamientos operando a niveles de excitación del oscilador superiores y eliminando la amplificación en la salida del circuito resonante paralelo 22. (Amplificador 30).

Aunque el circuito descrito anteriormente ha empleado un circuito resonante paralelo excitado por una fuente de alta impedancia, son posibles las realizaciones equivalentes empleando un circuito resonante en serie.

Describe suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas, son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para a medición sin contacto de la conductividad eléctrica de laminillas del tipo que comprende en una primera etapa excitar un circuito resonante a una frecuencia de -  
5 medición con una fuente de energía eléctrica, cuyo circuito resonante comprende un capacitor y un inductor; en una segunda etapa introducir una laminilla en el campo magnético del inductor de -  
forma que el campo magnético sea esencialmente uniforme en todo el espesor de la laminilla; y una tercera etapa derivar una señal  
10 de salida relacionada con la conductividad eléctrica de la laminilla; caracterizado porque se utiliza el circuito resonante como - determinante principal de la frecuencia de la medición, y se deriva la señal de salida ajustando la fuente de energía eléctrica para que restablezca el voltaje de la frecuencia de la medición a -  
15 través del inductor a su valor anterior a la introducción de la laminilla, y se mide la corriente de frecuencia de medición incremental a través del inductor.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se incluye en la medición de la corriente de frecuencia de medición incremental la fase de dividir electrónicamente por -  
20 el espesor de la laminilla.

3.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque se miden obleas semiconductoras en la gama de conductividad de  $0,05 \text{ mho-cm}^{-1}$  a  $10 \text{ mho-cm}^{-1}$  empleando la frecuencia de medición de aproximadamente  $10^7 \text{ Hz}$ .  
25

4.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque se miden obleas semiconductoras en la gama de conductividad de  $5 \text{ mho-cm}^{-1}$  a  $10^3 \text{ mho-cm}^{-1}$  empleando la frecuencia de medición de aproximadamente  $10^6 \text{ Hz}$ .  
30

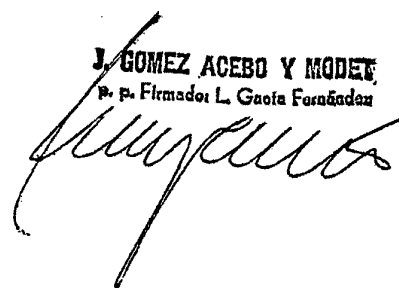
5.- Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, caract

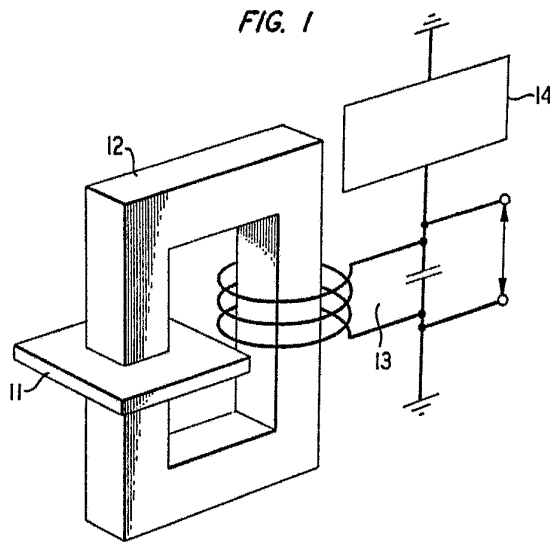
terizado porque se miden películas metálicas con un espesor que -  
alcanza hasta 5 micrómetros empleando la frecuencia de medición de  
aproximadamente  $10^4$  Hz.

5 6.- Procedimiento para la medición sin contacto de la con-  
ductividad eléctrica de una laminilla; tal y como queda sustancial-  
mente descrito en la presente Memoria, e ilustrado en los dibujos  
adjuntos.

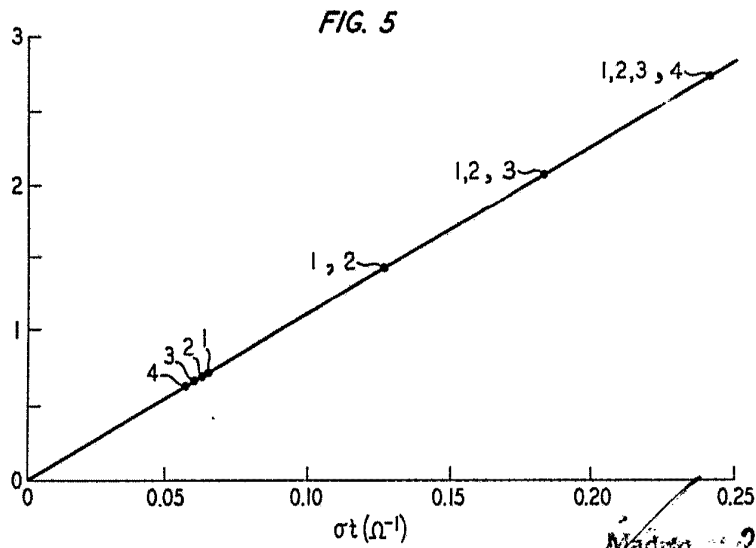
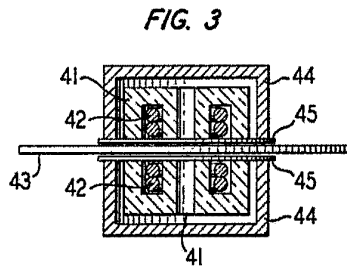
10 Esta Memoria, consta de 13 hojas, escritas a máquina por  
una sola cara.

Madrid, 20 AGO. 1976  
WESTERN ELECTRIC COMPANY.

J. GOMEZ ACEBO Y MODESTO  
P. p. Firmados L. Goñi Forñadas  


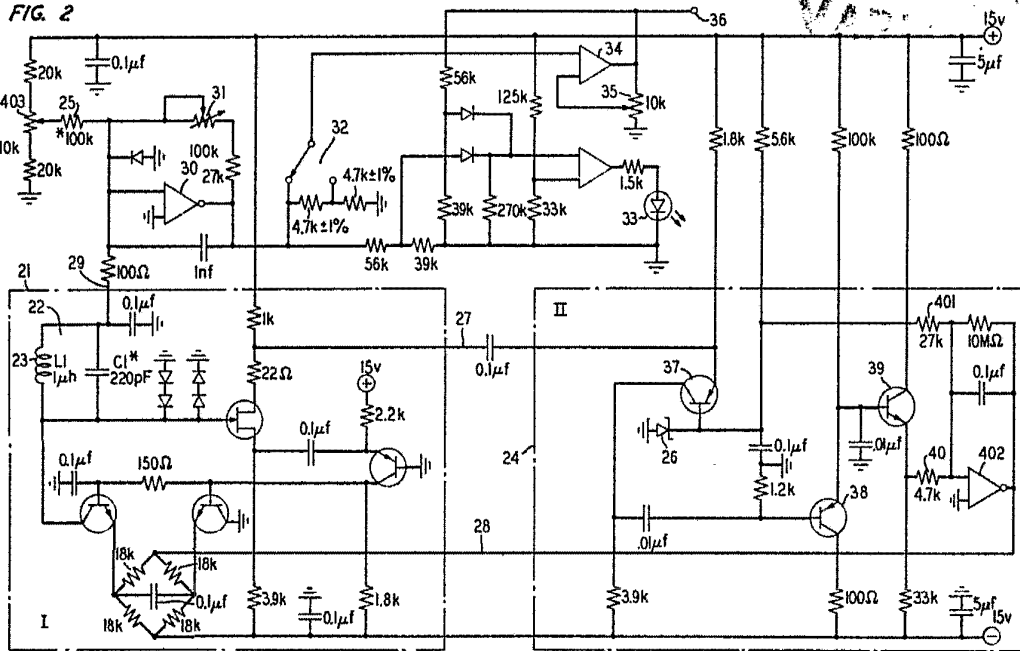


ET ESCALA



Madrid 20 AGO 1937  
J. GOMEZ ACEBO Y CA  
Firmado L. Gola Fernández

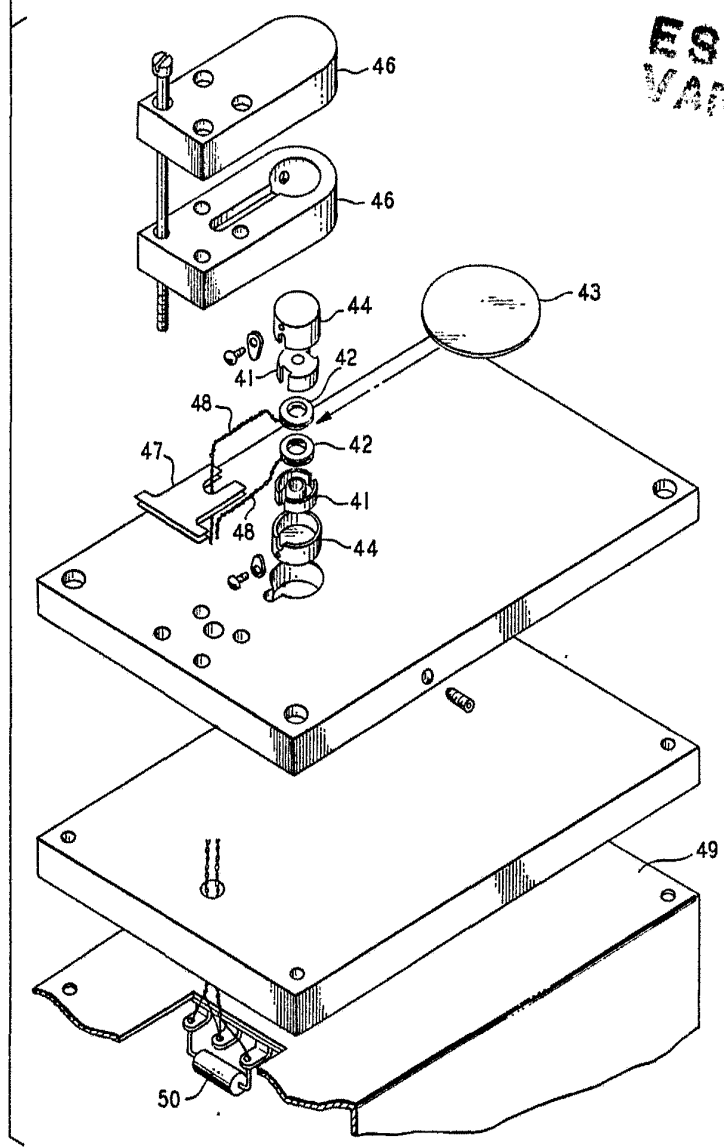
FIG. 2



20 AGO 1962  
INGENIERO ACERO Y MODELO  
Gustavo Fernández

*[Handwritten signature]*

FIG. 4



ESCALA  
VARIABLE

20 AGO. 1907

A. GOMEZ ACEBO Y MODER  
Firmado: L. Gasto