

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 672**

51 Int. Cl.:

**H05H 1/00** (2006.01)

**B64G 1/10** (2006.01)

**B64G 1/52** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.01.2014 PCT/EP2014/050824**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.07.2014 WO14111476**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2014 E 14700699 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2946640**

54 Título: **Sonda de Langmuir**

30 Prioridad:

**16.01.2013 GB 201300799**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**07.12.2017**

73 Titular/es:

**UNIVERSITETET I OSLO (100.0%)  
Boks 1072 Blindern  
0316 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

**PEDERSEN, ARNE;  
BEKKENG, TORE ANDRÉ;  
TRONSDEN, ESPEN y  
MOEN, JØRAN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 645 672 T3

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).

## DESCRIPCIÓN

Sonda de Langmuir

5 La invención se refiere a un método para calcular un potencial de plataforma de nave espacial. La invención también se refiere a un dispositivo para llevar a cabo el método y un producto de programa de ordenador relacionado. Dicho dispositivo se puede implementar en todos los tipos de naves espaciales que operan en la ionosfera.

10 Las sondas de Langmuir se han utilizado ampliamente para analizar plasmas en laboratorio y en el espacio. El principio básico de la sonda de Langmuir es exponer un conductor al plasma, polarizarlo con relación a algún potencial de referencia (el potencial de plataforma) y medir la corriente recolectada. Una respuesta representativa de una sonda de Langmuir se muestra en la figura 1.

15 Un cuerpo en un plasma (que tiene un potencial  $V_p$  de plasma) experimentará una corriente cuando esta es golpeada por electrones e iones del plasma. Esto cambia su carga, que a su vez afecta las corrientes de electrones e iones. En un corto periodo de tiempo el cuerpo adquirirá una carga de tal manera que la corriente neta es cero. El potencial de equilibrio logrado mediante un cuerpo conductor inmerso en un plasma, de tal manera que la corriente total debida a electrones e iones a la superficie de conducción suma cero se conoce como el potencial ( $V_i$ ) de plataforma. El potencial de plataforma también se denomina como el potencial de nave espacial, potencial de carga útil, potencial de flotación o potencial de flotación de carga útil. El potencial  $V_p$  de plasma, es el potencial en el que no existen protectores/cubiertas entre la superficie de la sonda y el plasma circundante. Un potencial de sonda menor que  $V_p$  repele electrones, y un potencial mayor que  $V_p$  repele iones.

25 Cuando la sonda se polariza negativamente atraerá iones positivos y repelerá electrones. En una polarización suficientemente negativa la corriente de iones positiva dominará, esto se denominará la 'región de saturación iónica' 1. Cuando la sonda se polariza positivamente repelerá iones positivos y atraerá electrones. En la polarización suficientemente positiva la corriente de electrones dominará y esto se conoce como la 'región de saturación de electrones' 2. En la polarización intermedia, la corriente será la suma de corrientes de iones y electrones, esto se conoce como la 'región de retardo' 3.

30 La sonda de Langmuir se utiliza normalmente en un modo de barrido de tensión. Realizar diversas mediciones en diferentes polarizaciones se puede producir una gráfica de corriente-tensión. Esta luego se ajusta a las ecuaciones teóricas para plasma, fotoelectrones y posiblemente otras corrientes para extraer parámetros de plasma.

35 Para una mejor comprensión sobre cómo la turbulencia en el plasma ionosférico afecta las señales de sistema de satélite de navegación global (GNSS) y de radiocomunicaciones de alta frecuencia (HF), se tiene que llevar a cabo un estudio de los procesos de accionamiento que provocan la turbulencia y la estructuración del plasma ionosférico.

40 Uno de los parámetros claves para comprender la turbulencia en el plasma del espacio es la densidad de electrones que se puede medir utilizando una sonda de Langmuir.

45 Realizar un barrido de sonda de Langmuir toma tiempo (del orden de 1 s). También puede haber diversos factores que pueden provocar que las mediciones se desvíen de las ecuaciones ideales. Se ha encontrado que la sonda de Langmuir barrida proporciona mediciones de densidad de electrones ionosféricos de baja precisión debido a las incertidumbres en la determinación del potencial de la nave espacial, así como la temperatura de los electrones. También, un tiempo de muestra de 1 s significa que se limita la resolución de las mediciones.

50 De esta manera, para superar este problema es conocido el uso de una sonda de Langmuir de polarización fija esférica. Sin embargo, la corriente recolectada por una sonda de polarización fija esférica depende no solamente de la densidad de los electrones, sino también de la temperatura de los electrones y el potencial de la nave espacial. Como resultado, la densidad absoluta de los electrones es muy difícil de determinar. Adicionalmente existen efectos físicos que complican los esfuerzos para obtener mediciones de densidad de electrones absolutas.

55 Para superar este problema se conoce proporcionar un sistema de sonda de Langmuir que comprende dos o más sondas cilíndricas de polarización fija que se conocen como sonda de Langmuir de múltiples agujas (m-NLP). Cada sonda cilíndrica se polariza a un diferente potencial en la región de saturación de electrones y las sondas se muestrean simultáneamente para obtener una medición de la corriente recolectada de cada sonda. Este dispositivo se puede utilizar para determinar la densidad absoluta de electrones sin tener que conocer la temperatura de los electrones y el potencial de la nave espacial (también denominado como potencial de plataforma, potencial de carga útil o potencial de flotación de carga útil).

60 El m-NLP es capaz de medir la densidad de electrones con una muy alta resolución de tiempo, que proporciona alta resolución espacial de mediciones de densidad de electrones.

65 Para realizar las mediciones de densidad de electrones absoluta utilizando solamente m-NLP es necesario una estimación del potencial de la nave espacial. Se pueden utilizar potenciales muy por encima del potencial de la nave

espacial para asegurar que las sondas estén operando en la región de saturación en el que se pueden tomar mediciones de densidad de electrones absolutas.

5 El cuadrado de la corriente de sonda ( $I_c^2$ ) versus el potencial (V) de la sonda produce una línea recta. El gradiente de la línea es proporcional al cuadrado de la densidad de los electrones. La densidad absoluta de electrones se puede calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$n_e = \sqrt{K \frac{\Delta(I_c^2)}{\Delta V}} \quad (1)$$

10 En el que K es una constante igual a  $m_e/2q(2qrl)^2$  y  $m_e$  es la masa de electrones, q es la carga de electrones, r es el radio del cilindro, l es la longitud del cilindro,  $\Delta(I_c)_2$  es la diferencia en las corrientes de sonda recolectadas y  $\Delta V$  es la diferencia en la polarización de sonda entre dos sondas polarizadas.

15 "Plasma Analyzer for Measuring Spacecraft Floating Potential in LEO and GEO", Luke Goembel, IEEE Transactions on Plasma Science, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, US, vol. 40, No. 2, 1 Febrero 2012 divulga un diseño para un analizador de plasma para medir el potencial de flotación de la nave espacial.

20 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para determinar el potencial de plataforma, el método comprende: recibir datos sobre una primera tensión de polarización y una primera corriente recolectada resultante de una primera aguja de una sonda de Langmuir de múltiples agujas; recibir datos sobre un segundo voltaje de polarización y una segunda corriente recolectada resultante de una segunda aguja de la sonda de Langmuir de múltiples agujas; asignar un valor de temperatura de electrones en la que la sonda de Langmuir de múltiples agujas está operando; y utilizar los datos de tensión y corriente, el valor de temperatura de electrones asignado y la teoría de sonda de Langmuir para calcular el potencial de la plataforma de la sonda de Langmuir de múltiples agujas.

25 Los inventores de la presente invención se han dado cuenta de que, sorprendentemente, la sonda de Langmuir de múltiples agujas (m-NLP) que se ha utilizado anteriormente para obtener mediciones de densidad de electrones absoluta se puede utilizar para obtener una medición del potencial de plataforma. La teoría de sonda de Langmuir proporciona una relación entre tensión de polarización, la corriente recolectada, el potencial de plataforma y la temperatura de los electrones. La tensión de polarización y la tensión recolectada se pueden medir fácilmente, pero es difícil determinar la temperatura de los electrones. Inesperadamente, se ha encontrado que se puede asignar un valor (por ejemplo, un valor estimado) para la temperatura de electrones en la que se recolectan los datos recibidos, es decir que el cálculo del potencial de la plataforma no es dependiente de conocer el valor exacto de la temperatura de los electrones.

30 Las mediciones de la sonda de Langmuir dependen del potencial del chasis/plataforma con relación a la cual la polarización se está aplicando, es decir placa de masa. La masa del instrumento se conecta a la estructura de carga útil de tal manera que la masa eléctrica sea la misma que el potencial de flotación de carga útil. Como se mencionó anteriormente, el potencial de flotación de carga útil es el potencial de equilibrio logrado mediante un cuerpo conductor inmerso en un plasma, de tal manera que la corriente total debida a los electrones y los iones para la superficie conductora suma cero. En otras palabras, el potencial de la plataforma es el potencial de equilibrio del m-NLP cuando está en un plasma. El potencial de plataforma es el potencial de la sonda de Langmuir de múltiples agujas cuando está en contacto eléctrico adecuado con la plataforma. Los cambios en el potencial de flotación de carga útil, es decir cargar la nave espacial puede afectar las medidas tomadas por las sondas de Langmuir. El conocimiento de cargar la carga útil y los diversos procesos que contribuyen a la carga de la carga útil es, por lo tanto, crucial para análisis adecuado de las sondas de Langmuir típicas. El conocimiento potencial de la nave espacial también es útil para la operación de una serie de otros dispositivos en una nave espacial. De esta manera el uso de m-NLP para obtener una medición del potencial de plataforma se puede utilizar para asegurar otros dispositivos que están operando en condiciones correctas o se puede utilizar para ajustar o corregir datos.

45 En respuesta a un cuerpo cargado, un plasma formará una cubierta alrededor del cuerpo con una carga neta de signo opuesto a aquel del cuerpo. Esto protege al plasma externo de la cubierta del campo eléctrico del cuerpo. La longitud de la escala de esta cubierta se conoce como la longitud Debye.

50 La longitud de protección Debye  $\lambda_D$  se da por

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{n_e q_e^2}} \quad (2)$$

55 en el que  $n_e$  es la densidad de los electrones,  $q_e$  es la carga de electrones,  $k_B$  es la constante de Boltzmann,  $T_e$  es la temperatura de electrones y  $\epsilon_0$  es la permisividad del espacio libre.

60

El tamaño de una sonda de Langmuir con relación a la longitud de Debye determina qué efectos tiene el protector en las corrientes medidas. El caso más simple es aquel en el que el tamaño a escala de la sonda es mucho más pequeño que la longitud de Debye. Cuando es cierto, se pueden ignorar los efectos de cubierta.

- 5 De la teoría de sondas de Langmuir, la corriente recolectada por una sonda cilíndrica con una longitud mucho mayor que su radio, un radio que es mucho menor que la longitud de protección de Debye y en un potencial positivo en la región de saturación de electrones (asumiendo que la sonda se ubica en un plasma Maxwelliano) es:

$$I = n_e e A_p \sqrt{\frac{k_B T_e}{2\pi m_e}} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{1 + \frac{V_b - V_f}{V_e}} \quad (3)$$

- 10 en el que  $n_e$  es la densidad de electrones,  $e$  es la carga de un electrón,  $k_B$  es la constante de Boltzmann,  $T_e$  es la temperatura de los electrones,  $m_e$  es la masa de un electrón,  $A_p$  es el área de superficie de sonda,  $l$  es la longitud del cilindro y  $V_b$  es el potencial aplicado a la sonda,  $V_f$  es el potencial de flotación de carga útil y  $V_e$  es la constante de Boltzmann multiplicada por la temperatura de electrones dividida por la carga de un electrón. Esta ecuación es válida bajo el supuesto de un plasma no magnetizado, sin colisión, sin derivación. Se ha encontrado que estas suposiciones se cumplen suficientemente en la mayor parte de la ionosfera completa con la excepción de la parte más baja de la capa D.

- 20 Para una sonda cilíndrica operada en la región de saturación de electrones (con todos los supuestos anteriores), hay una relación lineal entre el cuadrado de la corriente  $I^2$  recolectada y el voltaje  $V$  de polarización aplicado que se puede utilizar para determinar la densidad de electrones. De esta manera, si se toman dos mediciones en la región de saturación de electrones la diferencia en el cuadrado de la corriente en aquellos dos puntos se da por

$$I_2^2 - I_1^2 = (C n_e A_p)^2 (V_{b2} - V_{b1}) \quad (4)$$

- 25 en el que  $C$  es

$$\frac{e^{3/2}}{\pi} \sqrt{\frac{2}{m_e}} \quad (5)$$

Esto se puede reorganizar para dar

$$n_e = \frac{1}{C A_p} \sqrt{\frac{I_2^2 - I_1^2}{V_{b2} - V_{b1}}} \quad (6)$$

- 30 La derivación de la densidad de electrones absoluta utilizando una sonda Langmuir de múltiples agujas no depende del potencial de sonda con relación al potencial de plasma, pero depende solamente de la diferencia potencial entre las dos agujas. Esto hace efectivamente inmune al instrumento m-NLP para efectos de carga de la carga útil mientras que la carga no sea tan severa que la operación de la aguja se ponga en la región de retardo de electrones.

- 40 La ecuación (3) también se puede utilizar para encontrar  $V_f$ , el potencial de plataforma de la carga útil de cohete, que es útil como referencia para el voltaje de polarización de sonda.

$$R = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{V_e + V_{b2} - V_f}{V_e + V_{b1} - V_f} \quad (7)$$

Esto da la siguiente ecuación para el cálculo del potencial de flotación de la plataforma  $V_f$ .

$$V_f = \frac{(R V_{b1}) - V_{b2}}{R - 1} + V_e \quad (8)$$

- 45 Mediante la ecuación se puede observar que el potencial de la plataforma se puede derivar por los dos voltajes de polarización conocidos y la corriente recolectada por las sondas polarizadas. Para que las ecuaciones sean válidas las sondas se tienen que operar en la región de saturación de electrones. El único término desconocido en la ecuación (8) es  $V_e$ , que depende de la temperatura de electrones  $T_e$ .

Como se mencionó anteriormente, el método comprende asignar un valor para la temperatura de electrones. En una realización preferida el valor asignado es un estimado que se basa preferiblemente en un modelo. Por ejemplo, el valor asignado para la temperatura de electrones puede ser un valor de modelo o un mejor supuesto.

5 Los inventores de la presente invención se han dado cuenta que, inesperadamente, utilizando un valor asignado para la temperatura de electrones ha limitado el efecto en la precisión de los cálculos de potencial de plataforma.

10 Esto se ha confirmado experimentalmente. Por ejemplo, en la región de la mesosfera durante condiciones de invierno, se te espera que varíe de 200K a 400K. Suponga  $T_e = 200K$ , el término  $V_e$  será 17 mV, y para  $T_e = 400K$  el término  $V_e = 34mV$ . Los inventores han realizado cálculos utilizando  $T_e = 400K$ , para conseguir una incertidumbre del peor caso desde el término  $T_e$  y se descubre que el error en el cálculo de  $V_f$  debido a un  $T_e$  desconocido será del orden de pocas decenas de mV.

15 Cuando los datos se reciben de un m-NLP con sondas cilíndricas el potencial de la plataforma se puede calcular a partir de la ecuación (7).

20 Para obtener mediciones de la densidad de electrones se polariza una sonda de Langmuir con relación al potencial de la plataforma. Mientras que la sonda se opere en la región de saturación de electrones, no es necesario saber el potencial de la carga útil para accionar la densidad de electrones absoluta (que también se puede denominar como la densidad de plasma absoluta). Todo lo que se necesita es una diferencia de potencial conocida entre las múltiples agujas. Sin embargo, es útil ser capaz de medir el potencial de la plataforma para asegurar que la sonda de Langmuir está operando en esta región.

25 Se ha encontrado que en un plasma Maxwelliano cuasi-neutro, la corriente térmica de electrones recolectada por un cuerpo conductor es de un orden de magnitud mayor que la corriente térmica iónica. De esta manera, en una mesosfera/ionosfera típica el plasma de tiempo nocturno (oscuridad), cualquier cuerpo conductor logra un potencial de flotación negativo de tal manera que las corrientes recolectadas de iones y electrones suman cero, y el potencial de flotación varía de -0.1 V a -0.6 V dependiendo de la temperatura de electrones. Una carga útil de cohete que sonda puede obtener una carga significativamente diferente si existen potenciales expuestos en su superficie que recolecten electrones adicionales (cargas de la carga útil más negativa) o emisión de fotoelectrones (cargas de carga útil más positivas). Se ha encontrado en la práctica que para determinadas cargas útiles el nivel promedio del potencial de carga útil varía de -2 a - 2.5 V y que existe una región de altitud en el que el potencial de carga útil cambia al 50%. En otras palabras, el potencial de flotación de carga útil puede cambiar significativamente.

35 Más aún, la carga de la carga útil puede ser difícil de predecir con los modelos conocidos, por lo tanto, es ventajosa una medición del potencial de la carga útil.

40 El método comprende preferiblemente determinar el potencial de flotación de carga útil en vuelo o en órbita, y/o en tiempo real. Por ejemplo, el análisis de datos se puede llevar a cabo en un procesador u ordenador que puede proporcionar un monitor interno de potencial de flotación de carga.

45 Esto significa que se puede utilizar el potencial de carga útil calculado para asegurar que los otros dispositivos están operando en el régimen correcto. Por ejemplo, para una sonda Langmuir multiagujas utilizada para medir la densidad absoluta del electrón, la medición de potencial de flotación de carga se puede utilizar para asegurar que el m-NLP está operando en el régimen de saturación de electrones. Como resultado los datos recibidos de determinados instrumentos se pueden corregir o descartar dependiendo del potencial de plataforma determinado.

50 Cuando se determina el potencial de carga útil en órbita y/o en tiempo real el método puede incluir controlar el potencial de flotación de carga útil con base en el potencial de carga útil determinado. En una realización preferida, el método comprende ajustar el potencial de carga útil para que este en un nivel deseado. Por ejemplo, el aparato m-NLP puede comprender un emisor de electrones para controlar el potencial de carga útil que está en un valor deseado. El emisor de electrones puede expulsar un haz de electrones en el plasma circundante para mantener el potencial de flotación en un valor deseado o dentro de un rango deseado. El método puede comprender la mitigación de carga activa de la nave espacial. Es preferible para la superficie del satélite ser por lo menos parcialmente conductor con el fin de evitar las cargas diferenciales. De esta manera, el método puede comprender enviar una señal indicadora del potencial de plataforma determinado a un controlador.

60 En una realización preferida existe un circuito de retroalimentación entre el potencial de flotación de carga útil terminado y el control del potencial de flotación de carga útil. Esto significa que el potencial de flotación de carga útil se puede mantener un determinado nivel.

Se ha descubierto que se puede utilizar una sonda de Langmuir multiagujas para medir la densidad absoluta del plasma (es decir, la densidad de electrones) y el potencial de flotación de carga útil simultáneamente.

65 El método puede comprender, proporcionar una sonda de Langmuir multiagujas que preferiblemente tiene sondas cilíndricas; polarizar una primera aguja de la sonda de Langmuir de multiagujas en un primer potencial con relación

al potencial de la plataforma; polarizar una segunda aguja de la segunda sonda de Langmuir multiagujas en un segundo potencial con relación con el potencial de plataforma y medir la corriente recolectada de cada una de las agujas polarizadas.

5 En teoría un m-NLP con dos sondas es suficiente para ser capaz de medir el potencial de flotación de carga útil. Por lo tanto, en una realización los datos son recibidos de una sonda de Langmuir d multiagujas que comprende dos sondas.

10 Es deseable tener más de dos sondas ya que esto permite el desempeño del dispositivo que se va a verificar. También, tener más de dos sondas también agregará redundancia al sistema, de tal manera que puede aún funcionar si una de las sondas no funciona como se pretende. Por lo tanto, la sonda de Langmuir multiagujas de la que se obtienen datos comprende preferiblemente más de dos sondas o preferiblemente más de cuatro sondas.

15 Es deseable ser capaz de obtener una medición del error en la medición y ser capaz de detectar errores sistemáticos. Cuatro sondas proporcionan la capacidad de comprobar los datos obtenidos y proporcionar redundancia, mientras se mantiene la cantidad de hardware necesario en la carga útil en un mínimo.

20 Cuando las sondas de Langmuir multiagujas del que se obtuvieron los datos comprende más de dos sondas el método puede comprender verificar los datos. El método luego puede ser utilizado para determinar si existen errores en las mediciones y pueden incluir dicha etapa.

Preferiblemente el radio de cada una de las sondas de Langmuir multiagujas de la que se reciben los datos es menor que la longitud de Debye.

25 Por ejemplo, si la longitud de Debye es igual que o menor que el radio de la sonda, los valores calculados se verán afectados. Con esto en mente, también es beneficioso tener más de dos sondas de tal manera que el dispositivo tiene la capacidad de probar si está midiendo el régimen de plasma en él se validan nuestras ecuaciones, es decir, el método puede comprender una etapa de verificación. Tener dicha verificación de calidad permite una mayor confianza en los valores calculados. Dependiendo de la naturaleza de la perturbación puede ser posible corregir los datos para compensar, de esta manera el método puede comprender corregir los datos si se detecta un error.

30 En un caso típico, la longitud de Debye estará en el rango de 2 mm - 5 cm y la mayor parte del tiempo en el orden de 1 cm. Esto significa que el radio de las sondas del m-NLP del que se obtienen los datos es preferiblemente menos de 1 mm.

35 En un segundo aspecto la presente invención proporciona un dispositivo para determinar un potencial de plataforma, el dispositivo comprende una sonda de Langmuir multiagujas y un procesador, en el que el procesador se dispone para recibir datos en una primera tensión de polarización y resulta en una primera corriente recolectada de una primera aguja de una sonda de Langmuir multiagujas; recibir datos en una segunda tensión de polarización y en una  
40 segundo corriente recolectada resultante de una segunda aguja de la sonda de Langmuir multiagujas; asigna un valor para la temperatura de los electrones en la que está operando la sonda de Langmuir multiagujas; y utiliza los datos y voltaje de corriente, el valor de la temperatura de electrones asignados y la teoría de sonda de Langmuir para calcular el potencial de la plataforma de la sonda de Langmuir multiagujas.

45 En una realización preferida el procesador se dispone para llevar a cabo el método del primer aspecto y, opcionalmente, algo o todo de las características preferibles de ese método como se discutió anteriormente.

50 Preferiblemente el m-NLP tiene sondas cilíndricas. Como se discutió anteriormente, esto significa que determinados cálculos (basados en la ecuación de Langmuir para sondas cilíndricas) se puede utilizar para determinar el potencial de la plataforma.

Preferiblemente el NLP m tiene más de dos sondas y más preferiblemente cuatro sondas. Esto es por las razones discutidas anteriormente en relación con el primer aspecto.

55 Preferiblemente el radio de cada sonda es menor y más preferiblemente significativamente menor que la longitud de Debye. Esto es por las razones discutidas anteriormente en relación con el primer aspecto.

60 En una realización preferida el dispositivo comprende un controlador. Esto significa que el potencial de la plataforma se puede controlar con base en el potencial de la plataforma calculado. El dispositivo también comprende un emisor de electrones para controlar el potencial de la plataforma. Esto significa que el potencial de la plataforma se puede controlar según se requiera. El controlador se puede separar del procesador o puede ser parte del procesador.

65 La sonda de Langmuir multiagujas puede utilizar en un CubeSat que es una nave espacial cuboide escalable discreta, que mide 100 x 100 x 100 mm y que pesa un máximo de 1,33 kg. Se denomina como un CubeSat U 1. Al apilar dos o tres de estas naves espaciales U1 en la parte superior de cada una, se puede obtener una nave espacial 2U o 3U.

5 Cuando el dispositivo se despliega sobre un CubeSat es preferible para el dispositivo comprender (y más preferiblemente consistir de) una tarjeta de circuitos impresos electrónica (PCB), un emisor de electrones, cuatro sondas Langmuir esféricas miniaturizadas en brazos de grúas separados y cuatro sistemas de despliegue de brazos de grúa individuales.

10 Es preferible para el dispositivo ser dispuesto para realizar procesamiento interno de tal manera que sea posible transferir datos de densidad de electrones con requerimientos de enlace descendente de telemetría reducida. Este procesamiento interno también puede significar que el control en tiempo real, tal como el control de potencial de nave espacial, se puede llevar a cabo.

15 El método puede llevar el cálculo en tiempo real de densidad electrónica y el potencial de la nave espacial en una matriz de compuerta programables en campo (FPGA). La implementación puede ser alcanzada al utilizar codificador HDL Mathworks, que genera VHDL sintetizable independiente del objetivo o código Verilog. Alternativamente (por ejemplo cuando el procesamiento no se lleva a cabo internamente) la densidad electrónica y el potencial de la nave espacial se puede calcular después del vuelo utilizando secuencias de comandos de Matlab.

Preferiblemente el rendimiento del algoritmo implementado en el hardware es tan rápido como o más rápido que el índice de muestreo más alto del sistema, que se puede fijar por ejemplo en 10 kHz.

20 Las cuatro corrientes medidas y los valores de polarización de sonda pueden almacenarse en dos matrices separadas. Si se utiliza un FPGA, se puede alcanzar una reducción significativa del tiempo de computación requerido al ejecutar partes del algoritmo en paralelo. La información calculada en el potencial de flotación de la nave espacial puede ser enviada posteriormente a la aritmética digitales que controlan el emisor de electrones de tal manera que se puede controlar el potencial de la nave espacial en tiempo real.

25 El dispositivo puede comprender un sistema de brazo de grúa cargado con resorte, que puede comprender mecanismos de despliegue de brazo de grúa separado de cada brazo de grúa.

30 El dispositivo se puede colocar en uno de los bordes de 10 x 10 cm de la nave espacial, que de que luego se colocan en la parte delantera normal a la dirección de cabezal asegurará que las sondas se sitúen en un plasma sin perturbaciones. El sistema de brazo de grúas se puede utilizar en un CubeSat 2U o escalado a un CubeSat 3U al aumentar la longitud de los elementos del brazo de grúa.

35 El despliegue del sistema de brazo de grúa se puede manipular mediante mecanismos de despliegue separados, que se diseñan para que sean una parte de los paneles laterales PCB de la nave espacial, que también puede sostener los paneles solares. El mecanismo de despliegue puede ser un tipo de cable de combustión, en donde el cable se corta a pasar una determinada corriente y tensión a través del cable durante una cantidad de tiempo dada.

40 Por ejemplo, esto se puede alcanzar al pasar aproximadamente 0,5 A de corriente en una tensión de suministro 3.3 V durante aproximadamente 3 segundos. El mecanismo de corte de cable se puede hacer de una resistencia (por ejemplo, resistencia de tamaño 0603 o 0805) colocada directamente sobre el PCB, en cada lado del elemento de sonda. El cable de combustión se puede doblar en la parte superior de la resistencia. Preferiblemente los mecanismos de corte de cable comprenden dos resistencias para asegurar la redundancia en el caso de que una de las resistencias encuentre un mecanismo o falla eléctrica. Cuando se aplica la corriente, el elemento de resistencia se calienta a altas temperaturas mediante el flujo de corriente y por lo tanto funde el cable de combustión.

45 En un tercer aspecto la presente invención proporciona un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones que cuando se ejecutan mediante un procesador hacen que el procesador se disponga para recibir datos en una primera tensión de polarización y una primera corriente recolectada resultante de una primera de una sonda Langmuir multiagujas; recibe datos en una segunda tensión de polarización y una segunda corriente recolectada resultante de una segunda aguja de la sonda de Langmuir multiagujas; asigna un valor para la temperatura de electrones en la que la sonda de Langmuir multiagujas está operando; y utiliza datos de corriente y tensión, el valor de temperatura de electrones asignado y la teoría de sonda Langmuir para calcular el potencial de plataforma de la sonda de Langmuir multiagujas.

50 En una realización preferida el producto de programa de ordenador cuando se ejecuta puede provocar que el procesador sea capaz de llevar a cabo algo o todas las características preferibles del primer aspecto, como se discutió anteriormente.

60 Cualquiera características opcionales o preferidas de la invención se pueden aplicar en todos los aspectos de la invención.

Determinadas realizaciones preferidas de la presente invención se describirán ahora solamente por vía de ejemplo con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

65 La figura 1 muestra una respuesta representativa de una sonda de Langmuir;

La figura 2 muestra una configuración de carga útil de ejemplo con un m-NLP; y

La figura 3 muestra una sonda de ejemplo.

5 Los cohetes de sondas típicos tienen una configuración de motor de dos etapas que consiste de un motor de una primera etapa y un motor de segunda etapa. En la figura 2 se muestra una separación de motor después de carga útil.

10 La carga útil 10 de ejemplo comprende una serie de dispositivos 12, que miden, por ejemplo, los parámetros de plasma. La carga útil también comprende una sonda (m-NLP) 14 Langmuir multiagujas hacia el AFT de carga útil 10. El instrumento 14m-NLP consiste de sonda de cuatro sondas 16Langmuir cilíndricas miniaturizadas. Cada sonda tiene la configuración mostrada en la figura 3.

15 Las sondas comprenden un conductor 18 central, un aislante 20 dieléctrico y un trenzado 22 externo. Las dimensiones mencionadas adelante se refieren a una sonda específica desarrollada para uso cerca a la ionosfera terrestre La parte expuesta del conductor 18 central tiene una longitud de 25 mm. Cubrir la parte no expuesta del conductor central es un aislante 20 dieléctrico que tiene una longitud expuesta de aproximadamente 1 mm. La parte no expuesta del aislante 20 dieléctrico está rodeada por un trenzado 22 que tiene una longitud de 15 mm expuesta. Esta se mantiene dentro de una parte 24 aislante. El área 20 aislante corta entre el trenzado 22 y el conductor 18 central se proporciona para evitar cortocircuito entre el trenzado 22 y el conductor 18 central.

20 El conductor 18 central tiene un diámetro de 0,51 mm. Un diámetro de sonda de 0,51 mm da una sonda con un radio que es significativamente más pequeño que la longitud de Debye experimentada normalmente. Esto significa que los efectos de cubierta alrededor de la sonda se pueden ignorar en la mayor parte de las circunstancias.

25 Las dimensiones pueden ser a escala, por ejemplo, dependiendo del tamaño de la nave espacial. Por ejemplo, en un CubeSat el conductor 18 central puede tener un diámetro de 0,29 mm.

30 En operación las sondas 16 cada una se polarizan en diferentes tensiones que varían entre normalmente + 2.5 V y + 10 V. Las dos sondas 16 se montan en un brazo de grúa 26 en la cubierta de popa de la carga útil. Las otras dos sondas 16 se montan en otro brazo de grúa 28, montado en 180 grados a partir del brazo de grúa 26 con otras sondas. Las sondas se pueden utilizar simultáneamente para medir la densidad absoluta del electrón y el potencial de la plataforma.

35 Cuando el m-NLP está en un plasma y los voltajes se aplican a cada sonda, se mide la corriente recolectada de cada sonda.

40 Se estima un valor de temperatura de electrones en el que las mediciones se toman utilizando un modelo. Este valor se puede asignar antes de que se tomen las mediciones.

Utilizando la polarización de una de las sondas ( $V_{b1}$ ) y la corriente recolectada medida de esa sonda ( $I_1$ ), la polarización de otra de las sondas ( $V_{b2}$ ) y la corriente recolectada medida de esa sonda ( $I_2$ ) y el valor estimado para la temperatura de electrones, se calcula el potencial de la plataforma utilizando la siguiente ecuación:

45 
$$R = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{V_e + V_{b1} - V_f}{V_e + V_{b2} - V_f}$$

En el que  $V_e$  es la constante de Boltzmann multiplicada por la temperatura de electrones dividida por la carga de un electrón,  $V_f$  es el potencial de la plataforma y que cuando se reorganiza da:

50 
$$V_f = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{RV_{b1} - V_{b2}}{R - 1} + V_e$$

El valor de potencial de plataforma calculado se determina en órbita y en tiempo real mediante un procesador interno a bordo de la carga útil 10. El valor calculado del potencial de la plataforma se utiliza para controlar el emisor de electrones (no mostrado) que controla el potencial de la plataforma sobre la base del potencial de la plataforma calculado.

55



**REIVINDICACIONES**

1. Un método para determinar un potencial de plataforma, caracterizado porque el método comprende:

5 recibir datos sobre una primera polarización de tensión y una primera corriente recolectada resultante de una primera aguja (16) de una sonda (14) de Langmuir multiagujas;

recibir datos en una segunda tensión de polarización y una segunda corriente recolectada resultante de una segunda aguja (16) de la sonda (14) de Langmuir multiagujas;

10 asignar un valor de la temperatura de electrones en la que la sonda (14) de Langmuir multiagujas estaba operando; y

15 utilizar los datos de tensión y corriente, el valor de temperatura de electrones asignado y la teoría de sonda de Langmuir para calcular el potencial de plataforma de la sonda (14) de Langmuir multiagujas.

2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, en el que la etapa de utilizar los datos para calcular el potencial de la plataforma se realiza en órbita.

20 3. Un método como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en el que la etapa de utilizar los datos para calcular el potencial de plataforma se realiza en tiempo real.

4. Un método como se reivindica en la reivindicación 2 o 3, que comprende controlar el potencial de plataforma con base en el potencial de plataforma calculado.

25 5. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que los datos se reciben de una sonda (14) de Langmuir multiagujas con sondas cilíndricas y el potencial de plataforma se calcula utilizando la siguiente ecuación

$$\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{V_e + V_{b1} - V_f}{V_e + V_{b2} - V_f}$$

30 En el que  $I_2$  es la segunda corriente recolectada,  $I_1$  es la primera corriente recolectada,  $V_{b2}$  es la segunda tensión de polarización,  $V_{b1}$  es la primera tensión de polarización,  $V_e$  es la constante de Boltzmann multiplicada por la temperatura de electrones dividida por la carga de un electrón y  $V_f$  es el potencial de plataforma.

35 6. Un dispositivo para determinar el potencial de plataforma, caracterizado porque el dispositivo comprende una sonda (14) de Langmuir multiagujas; y

un procesador, en el que el procesador se dispone para recibir datos en una primera tensión de polarización y una primera corriente recolectada resultante de una primera aguja (16) de la sonda de Langmuir multiagujas; recibir datos en un segundo voltaje de polarización y una segunda corriente recolectada resultante de una segunda aguja (16) de la sonda de Langmuir multiagujas; asignar un valor para la temperatura de electrones en el que la sonda de Langmuir multiagujas está operando; y usar datos de voltaje y corriente, el valor de temperatura de electrones asignado y la teoría de Langmuir para calcular el potencial de plataforma de la sonda de Langmuir multiagujas.

45 7. Un dispositivo como se reivindica en la reivindicación 6, en el que el procesador se dispone para que sea capaz de calcular el potencial de plataforma cuando está en órbita.

8. Un dispositivo como se reivindica en la reivindicación 6 o 7, en el que el procesador se dispone para calcular el potencial de plataforma cuando está en tiempo real.

50 9. Un dispositivo como se reivindica en la reivindicación 7 u 8, en el que el dispositivo comprende un controlador que se dispone para controlar el potencial de plataforma con base en cálculos de órbita y/o en tiempo real.

55 10. Un dispositivo como se reivindica en la reivindicación 9, en el que el dispositivo comprende un emisor de electrones que se dispone para que sea capaz de controlar el potencial de plataforma sobre la base del potencial de plataforma calculado.

11. Un dispositivo como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que la sonda (14) de Langmuir multiagujas tiene sondas cilíndricas.

60 12. Un dispositivo como se reivindica en la reivindicación 11, en el que el procesador se dispone para calcular el potencial de plataforma utilizando la siguiente ecuación

$$\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 = \frac{V_e + V_{b1} - V_f}{V_e + V_{b2} - V_f}$$

En el que  $I_2$  es la segunda corriente recolectada,  $I_1$  es la primera corriente recolectada,  $V_{b2}$  es la segunda tensión de polarización,  $V_{b1}$  es la primera tensión de polarización,  $V_e$  es la constante de Boltzmann multiplicada por la temperatura de electrones dividida por la carga de un electrón, y  $V_f$  es el potencial de plataforma.

- 5
13. Un dispositivo como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 12, en el que la sonda (14) de Langmuir multiagujas tiene más de dos sondas.
- 10
14. Un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones que cuando se ejecutan mediante un procesador provocan que el procesador se disponga para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

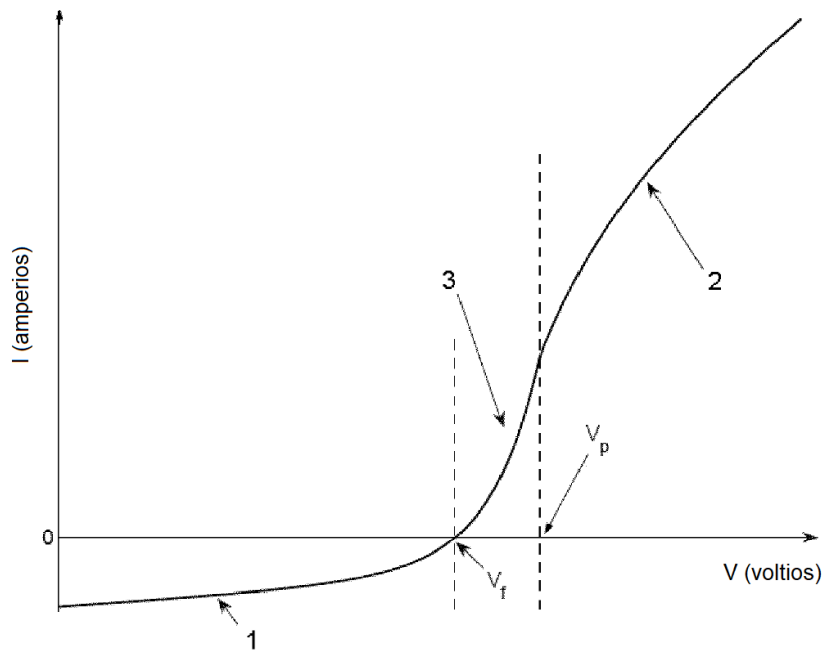


Figura 1

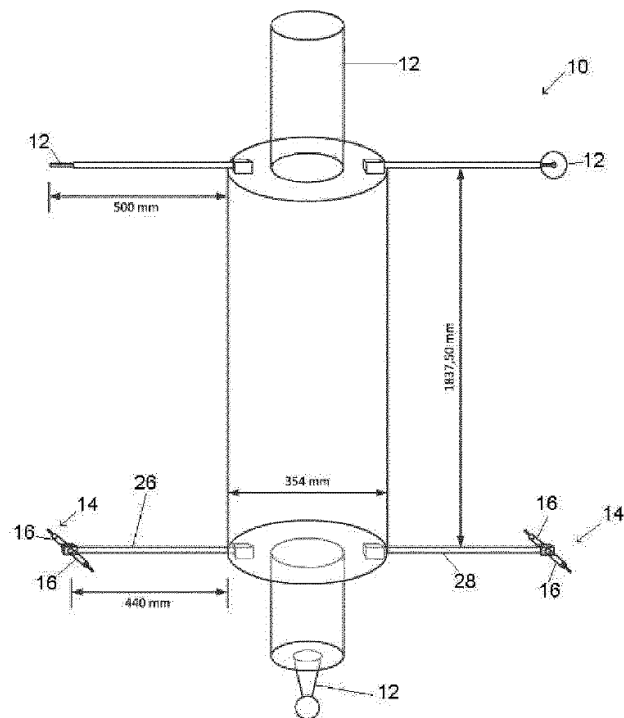


Figura 2

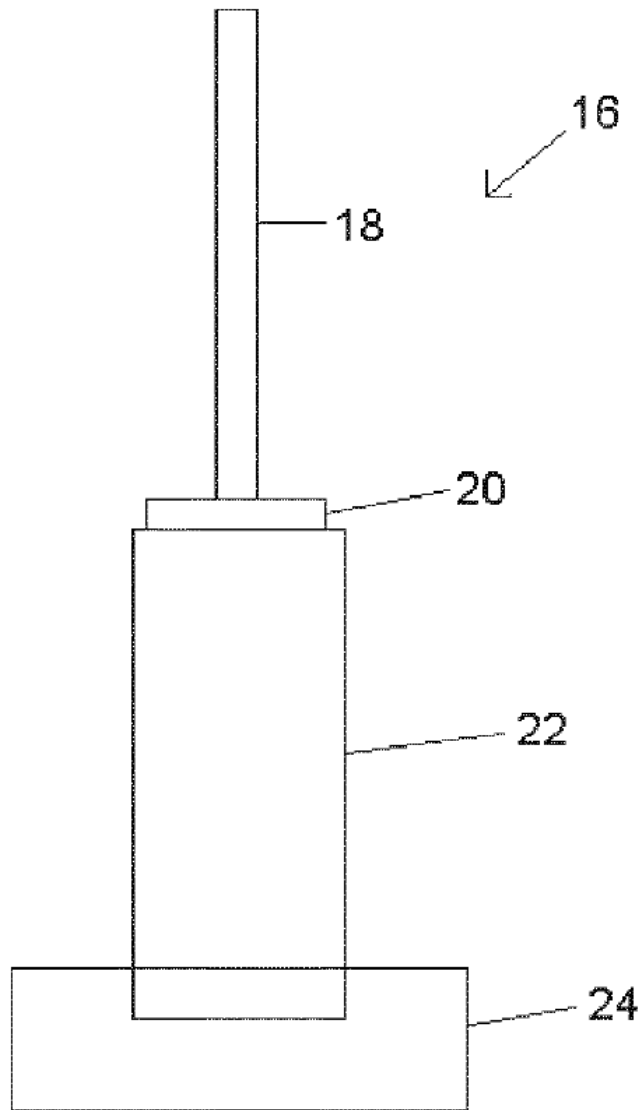


Figura 3