

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00419

(22) Data de depozit: 12/07/2019

(41) Data publicării cererii:
29/01/2021 BOPI nr. 1/2021

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI-INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR
NR.409, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:
• TEODORESCU MAXIMILIAN VLAD,
STR.FIZICIENILOR, NR.15, BL.L2, SC.1,
ET.1, AP.7, MĂGURELE, IF, RO;

• DINESCU GHEORGHE, STR. BARCA
NR. 17, BL. M8, AP. 17, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;
• STANCU CRISTIAN, STR.LUICA, NR.31,
BL.M4BIS, AP.39, SECTOR 4, BUCUREȘTI,
B, RO;
• ANDREESCU THEODORA ANA - MARIA,
CALEA CĂLĂRAȘILOR, NR.170, BL.56,
AP.15, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
• STOICESCU ADRIAN, STR.OBOGA,
NR.26, ET.4, AP.19, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SURSĂ DE PLASMĂ DE RADIOFRECVENȚĂ
PENTRU APLICAȚII ÎN PROPULSIA SPAȚIALĂ
A SATELIȚILOR DE MICI DIMENSIUNI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o sursă de plasmă de dimensiuni mici, cu funcționare la presiune joasă, utilizabilă în propulsia spațială. Sursa de plasmă, conform invenției, este prevăzută cu o antenă (2) de radiofrecvență tip Helicon sau Nagoya III care permite generarea unei descărcări de densitate electronică mai mare, comparativ cu sursele clasice utilizate în domeniu, configurația de generare a plasmei fiind alcătuită dintr-un tub (1) dielectric, realizat din cuarț sau sticlă, care are rol de cameră de descărcare, în interiorul căruia se generează și se întreține plasma, gazul de lucru fiind introdus pe la unul din capete, la celălalt capăt având loc evacuarea sub formă de jet de plasmă, pentru accelerarea și confinarea jetului de plasmă, sursa utilizând o duză (4) magnetică, iar pentru a dezvolta o descărcare de densitate mare, în dreptul antenei (2) de radiofrecvență sunt plasați niște magneți (3) permanenți, în două configurații. Prin varierea fluxului gazului de lucru și a puterii de radiofrecvență aplicate se poate modifica densitatea electronilor și ionilor plasmei și, deci, mărirea forței de tracțiune dezvoltate.

Revendicări: 1
Figuri: 5

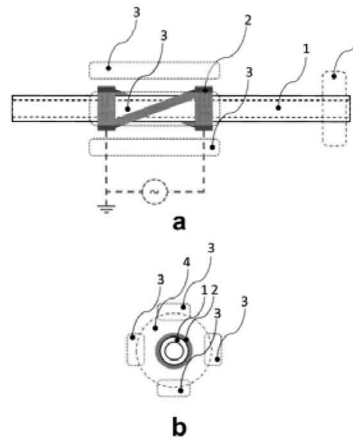


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



SURSĂ DE PLASMĂ DE RADIOFRECVENȚĂ PENTRU APLICAȚII ÎN PROPULSIA SPAȚIALĂ A SATELIȚILOR DE MICI DIMENSIUNI

Autori:

INFLPR: Maximilian-Vlad TEODORESCU, Gheorghe DINESCU, Cristian STANCU

COMOTI: Theodora Ana-Maria ANDREESCU, Adrian STOICESCU

DESCRIEREA INVENȚIEI

Domeniul invenției

Invenția se referă la o sursă de plasmă de dimensiuni mici cu funcționare la presiune joasă utilizabilă în propulsia spațială. Sursa de plasmă este prevăzută cu o antena de radiofrecvență tip Helicon ce permite generarea, comparativ cu sursele de tip clasic utilizate deja în domeniu, a unei descărcări cu densitate electronică mai mare. Datorită designului compact, această sursă are un consum (gaz de lucru, putere aplicată) redus. În plus, plasma generată nu ajunge în contact cu componente ce pot fi erodate în timp; astfel sursa poate funcționa un timp îndelungat.

Baza invenției

Conceptul de propulsie electrică este cunoscută de mult timp, diferite tipuri de propulsoare electrice fiind dezvoltate și testate în spațiu. Propulsia electrică poate fi utilizată fie pentru misiuni de explorare spațială, fie pentru manevre orbitale ale sateliților. De-a lungul vieții satelitului, devierea de pe orbita corectă indusă de presiunea radiației solare și de gradientii gravitaționali, trebuie corectată constant.

Principiul de baza al propulsiei electrice este de a aplica energie electrică propulsorului dintr-o sursă de energie externă, astfel încât o masă ionizată este accelerată într-un câmp electromagnetic, fiind apoi expulzată producând tracțiune propulsorului. Forțele care o pot accelera pot fi electrostatice (Coulomb) sau electromagnetice (Lorentz).

Propulsia electrică este o tehnologie care urmărește obținerea de viteze mari de evacuare, conducând la tracțiune utilizând cantități de combustibil cât mai reduse. Masa redusă a propulsorului poate diminua semnificativ masa de lansare a unei nave spațiale sau a unor sateliți, ceea ce conduce la costuri de lansare mai mici. Datorită puterii electrice limitate, tracțiunea este



mult mai slabă în comparație cu rachetele chimice; în schimb propulsia electrică oferă o forță de tracțiune de valoare mică pentru o lungă perioadă de timp. Propulsoarele electrice sunt capabile să accelereze particule la viteze mult superioare față de cele generate în propulsia chimică.

Sunt cunoscute mai multe metode de a realiza generarea unei descărcări în spații înguste în scopul de a crește densitatea electronică și tracțiunea rezultată.

Se cunoaște din patentul **US 6293090 B1** un propulsor ce utilizează o undă hibrid pentru a încălzi plasma într-un câmp magnetic, generând astfel deplasarea plasmei în lungul liniilor de câmp magnetic și producând forța de propulsie. Acest sistem este compus dintr-un sistem magnetic, o antena RF ce are rolul de a lansa în plasma undele produse de generatorul RF și o sursă de alimentare de curent continuu. Undele hibride joase sunt excitate de inelele antenei din jurul plasmei. La rândul lor inelele antenei sunt montate pe un tub de cuarț sau de teflon. În exteriorul antenei este poziționat un solenoid în vederea generării câmpului magnetic axial. Principalii parametri funcționali și performante sunt: frecvența RF 300MHz , gaz de lucru Argon, inducție magnetică 500 Gauss , densitate nominală $1 \cdot 10^{13}\text{ cm}^{-3}$, temperatura electronică 5 eV , diametrul plasmei 2 cm , puterea de alimentare 3.2 kW .

Se cunoaște din patentul **US 6640535 B2** un propulsor ionic linear ce utilizează în locul grilelor de accelerare curenți electronici de tipul Hall în vederea accelerării fluxului ionic. Din punct de vedere architectural, propulsorul este divizat în două trepte: treapta de ionizare compusă dintr-un catod tubular, un anod și un câmp magnetic ce au rolul de a ioniza agentul de lucru, iar a doua treapta de accelerație formată dintr-un catod dispus în amonte, un anod dispus în aval și un câmp magnetic radial cu rol în accelerarea fluxului ionic. Operarea unui astfel de propulsor s-a dovenit a avea o eficiență redusă la puteri de alimentare mai mici de 6 kW .

Se cunoaște din **US 7436122 B1** un propulsor ce utilizează o combinație între o sursă de ionizare de tip helicon și un fenomen de accelerare bazat pe efect Hall.

Se cunoaște în **US 8179050 B2** o sursă de plasmă RF fără electrozi imersați direct în fluxul de plasmă, fiind compus din două trepte, o primă treaptă de ionizare bazată pe descărcări de tipul Helicon și o treaptă de accelerare. Camera de ionizare prezintă un sistem de confinare atât în avalul cat și în amonte primei trepte pentru a controla fluxul de plasmă, gradul de ionizare și distribuția spațială.

US 2016/0200458 A1 Acest patent face referire la un ajutor magnetic (având un contur convergent/divergent) cu aplicații directe în propulsia spațială, având rolul funcțional de a transforma energia termică a combustibilului în energie cinetică direcționată.

US 2016/0207642 A1 Propulsorul Ambipolar CubeSAT (CAT) este un sistem de propulsie electromagnetică fără electrozi. O antenă de radiofrecvență (RF) generează descărcări de tip inductiv sau helicon în plasmă. Pentru a dezvolta forța de propulsie, plasma este accelerată printr-un ajutor magnetic. Propulsorul CAT are o masă totală de aproximativ 1 kg . Plasma de argon generată este caracterizată de o temperatură electronică de 5 eV până la 20 eV . A fost proiectat să funcționeze și la puteri mai mari de 50 W , generând o forță de tracțiune de ordinul mN .



Sumarul invenției

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este generarea și menținerea unei descărcări de radiofrecvență într-un spațiu de descărcare mic, la presiune joasă, și fără ca aceasta să fie în contact direct cu elemente constructive degradabile în timp datorită prezenței descărcării. Prin utilizarea unor configurații de tip DBD (Descărcare cu Barieră de Dielectric), plasma generată este în contact doar cu peretele de sticlă al tubului de descărcare, astfel eliminându-se erodarea electrozilor și alte probleme termice ce ar rezulta din aceasta. Prin utilizarea unei antene de tip Nagoya III ori Helicon de dimensiuni mici atât consumul de gaz cât și cel electric sunt reduse față de o descărcare cu caracteristici dimensionale apropiate, funcționând fără antene. Ținând cont de aceste aspecte, sursa în ambele configurații descrise, se pretează în propulsia spațială a nanosateliților.

Prezentarea pe scurt a figurilor

Figura 1 prezintă o vedere schematică în secțiune longitudinală (A) și o vedere transversală în secțiune (B) a configurației de descărcare generatoare de plasmă, cu doi magneți permanenți inelari amplasați în dreptul capetelor antenei Helicon.

Figura 2 prezintă o vedere schematică în secțiune longitudinală (A) și o vedere transversală în secțiune (B) a configurației de descărcare generatoare de plasmă, cu patru magneți permanenți paralelipipedici amplasați paralel cu antena Nagoya III.

Figura 3 prezintă o vedere schematică tridimensională a antenei de tip Helicon.

Figura 4 prezintă o vedere schematică tridimensională a antenei de tip Nagoya III.

Figura 5 prezintă două imagini ale configurațiilor de descărcare cu antenă tip Nagoya III (Stanga) și Helicon (Dreapta).

Definiția termenilor

În general termenii tehnici sau frazele care apar sunt folosiți ca atare, dar pentru o mai bună înțelegere a lor au fost selectate definiții, după cum urmează.

Plasma: se referă la un mediu gazos ionizat ce conține purtători liberi de sarcină (electroni și ioni) și particule neutre excitate (atomi, molecule, radicali). Datorită prezenței purtătorilor liberi de sarcină, plasma este puternic conductivă, prezintă un grad ridicat de interacție între constituenții săi și, în plus, răspunde la acțiunea câmpurilor electrice și magnetice.

Ajutaj magnetic: se referă la un câmp magnetic divergent sau convergent ce ghidează, expandează și accelerează un jet de plasmă în vederea scopului de a genera propulsie. Ajutajul magnetic convertește energia internă a plasmei în energie cinetică direcționată pe axa longitudinală a jetului de plasmă. Operarea se bazează pe interacția câmpului magnetic aplicat cu sarcinile electrice în mișcare din plasmă.



Descărcare Helicon: în aceste aceste descărcări se produce o excitare suplimentară a plasmăi cu unde Helicon. Față de descărcările cu cuplaj inductiv, sursele de tip Helicon prezintă avantajul unui câmp magnetic direcționat de-a lungul direcției de curgere a gazului. Astfel se asigură generarea unei densități electronice mai mari față de o descărcare tipică, cu un grad înalt de ionizare.

Prezentarea detaliată a invenției

Obiectul invenției îl constituie dezvoltarea unei surse de plasmă bazată pe o descărcare de radiofrecvență, în configurație cu bariera de dielectric și generare de unde Helicon, care se poate utiliza în propulsia spațială a nanosateliților.

Această sursă prezintă următoarele avantaje:

- Complexitate redusă, avantajând astfel realizarea elementelor constructive.
- Dimensiuni fizice reduse, compatibile cu cele ale nanosateliților;
- Domeniu larg de puteri aplicate (10-100W),
- Consum mic de gaz (50-300 sccm);
- Durata de viață mare și utilizări repetate datorită lipsei de contact direct între electrozi și plasmă;
- Posibilitate de utilizare atât pentru propulsie cât și pentru orientarea pe orbită (corecții de atitudine);

Obiectivul invenției constă în:

Elaborarea unei surse de plasmă de radiofrecvență de dimensiuni mici cu funcționare la presiune joasă pentru aplicații în domeniul propulsiei spațiale pentru nanosateliți. Se urmărește realizarea unui surse de mici dimensiuni fizice și creșterea eficienței de ionizare prin utilizarea unei antene Helicon, diminuând astfel consumul de gaz și micșorând valoarea puterii de radiofrecvență aplicată.

Exemple:

Exemplul 1. Configurații de descărcare:

Configurațiile construite au fost realizate din tuburi de cuarț și sticlă, cu diametrul interior de 12 mm și cel exterior de 15 mm, și lungime de 60 mm. Descărcările au fost realizate la presiune joasă (3×10^{-5} mbar) utilizând ca și gaz de lucru Argonul (puritate 99.9998%). Descărcarea a fost aprinsă și întreținută în toate cazurile folosind un generator de radiofrecvență (RF), cu frecvența de funcționare de 13.56 MHz. Cuplarea puterii generatorului la descărcare s-a realizat prin intermediul unei cutii de adaptare a impedanței.



a) Prima configurație (Figura 1) este realizată dintr-un tub de sticlă (1), având ca electrod de putere o antenă de radiofrecvență helicoidală - Helicon (2). Patru magneți permanenți paralelipedici (dimensiune 40x10x3mm) de NdFeBr (Neodim) (3) sunt amplasați de-a lungul tubului de descărcare și în jurul antenei Helicon la 90 de grade unul față de altul. Un al cincilea magnet (4) de formă toroidală este amplasat în apropierea capătului de ieșire a gazului. Acesta are rolul de duză magnetică, adică de a confina jetul de plasmă emergent și a accelera ionii la viteze mari. Puterea de lucru folosită variază în domeniul 10-100 W, iar fluxul de argon este în domeniul 100-500 sccm. Datorită geometriei configurației, descărcarea la interiorul tubului este uniformă, iar jetul de plasmă emergent este confinat datorită duzei magnetice.

b) A doua configurație (Figura 2) are o geometrie asemănătoare cu precedenta, diferența venind de la prezența unor magneți toroidali (3) în locul celor paralelipedici. Aceștia sunt amplasați în dreptul capetelor antenei de radiofrecvență (2). Datorită acestei configurații magnetice în locul antenei tip Helicon (Figura 3) poate fi utilizată cu succes și o antenă tip Nagoya III (Figura 4). Aceasta descărcare poate fi întreținută la valori ale puterii de radiofrecvență de 30-100W și un consum de gaz de 200-500sccm. Doua imagini ale descărcării de acest tip, cu antena Nagoya III sunt prezentate în Figura 5.

a) Prima configurație (Figura 1) este realizată dintr-un tub de sticlă (1), având ca electrod de putere o antenă de radiofrecvență helicoidală - Helicon (2). Patru magneți permanenți paralelipipedici (dimensiune 40x10x3mm) de NdFeBr (Neodim) (3) sunt amplasați de-alungul tubului de descărcare și în jurul antenei Helicon la 90 de grade unul față de altul. Un al cincilea magnet (4) de formă toroidală este amplasat în apropierea capătului de ieșire a gazului. Acesta are rolul de duză magnetică, adică de a confina jetul de plasmă emergent și a accelera ionii la viteze mari. Puterea de lucru folosită variază în domeniul 10-100 W, iar fluxul de argon este în domeniul 100-500 sccm. Datorită geometriei configurației, descărcarea la interiorul tubului este uniformă, iar jetul de plasmă emergent este confinat datorită duzei magnetice.

b) A doua configurație (Figura 2) are o geometrie asemănătoare cu precedenta, diferența venind de la prezența unor magneți toroidali (3) în locul celor paralelipipedici. Aceștia sunt amplasați în dreptul capetelor antenei de radiofrecvență (2). Datorită acestei configurații magnetice în locul antenei tip Helicon (Figura 3) poate fi utilizată cu succes și o antenă tip Nagoya III (Figura 4). Aceasta descărcare poate fi întreținută la valori ale puterii de radiofrecvență de 30-100W și un consum de gaz de 200-500sccm. Doua imagini ale descărcării de acest tip, cu antena Nagoya III sunt prezentate în Figura 5.

REVENDICĂRI:

Sursă de plasmă de dimensiuni mici cu funcționare la presiune joasă utilizabilă în propulsia spațială, prevăzută cu o antenă de radiofrecvență tip Helicon sau Nagoya III, cu un consum (gaz de lucru, putere aplicată) redus și geometrie care previne erodarea în timp a componentelor, prin utilizarea de electrozi exteriori și configurații de câmpuri magnetice pentru confinarea și accelerarea plasmei.



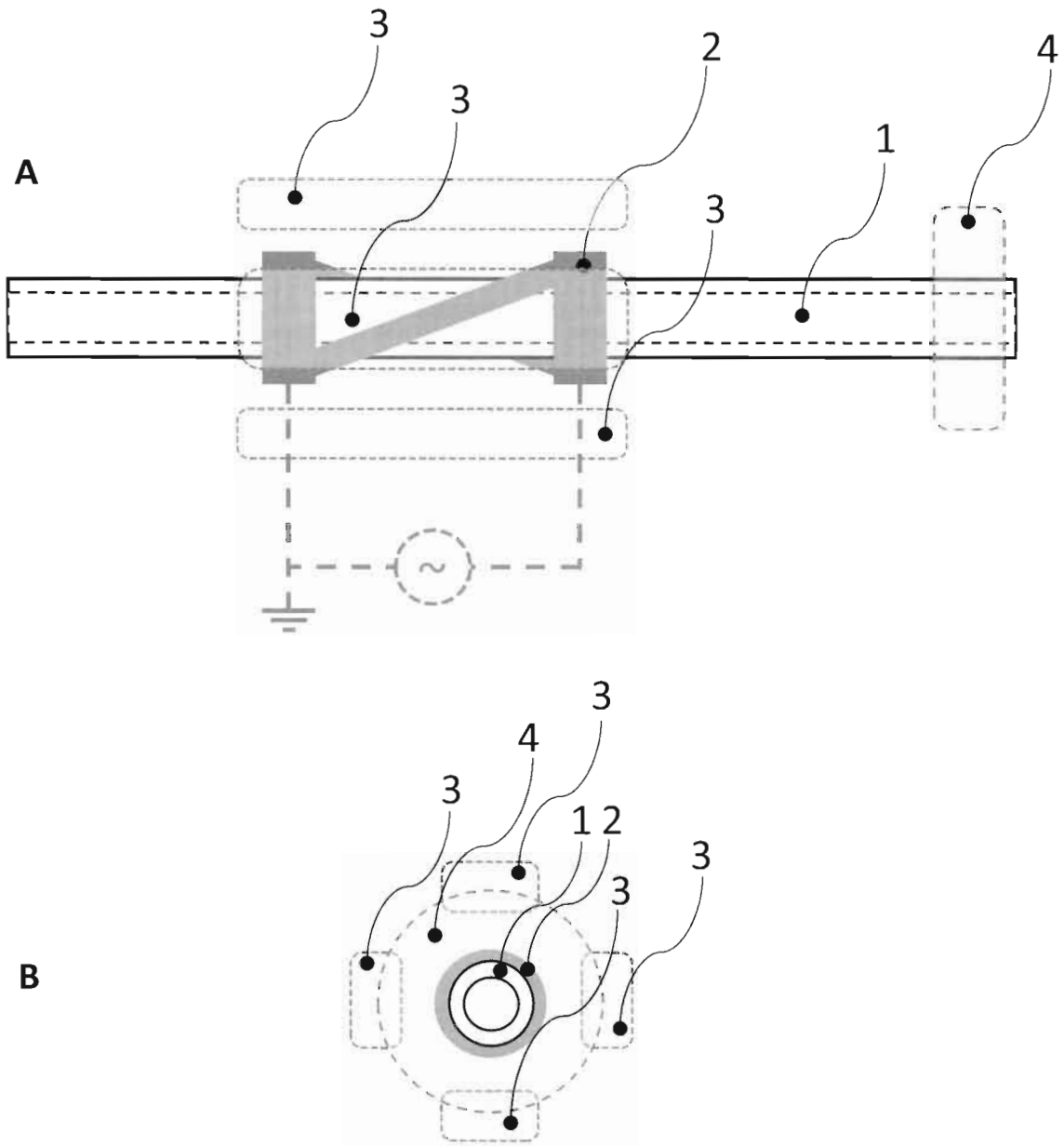


Figura 1



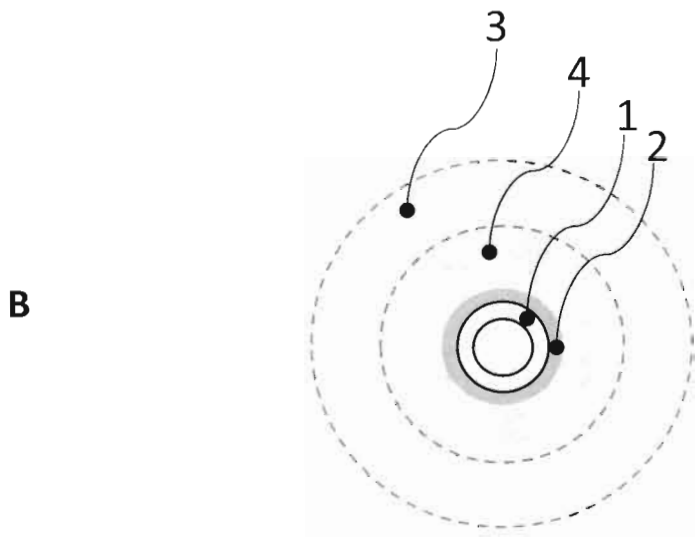
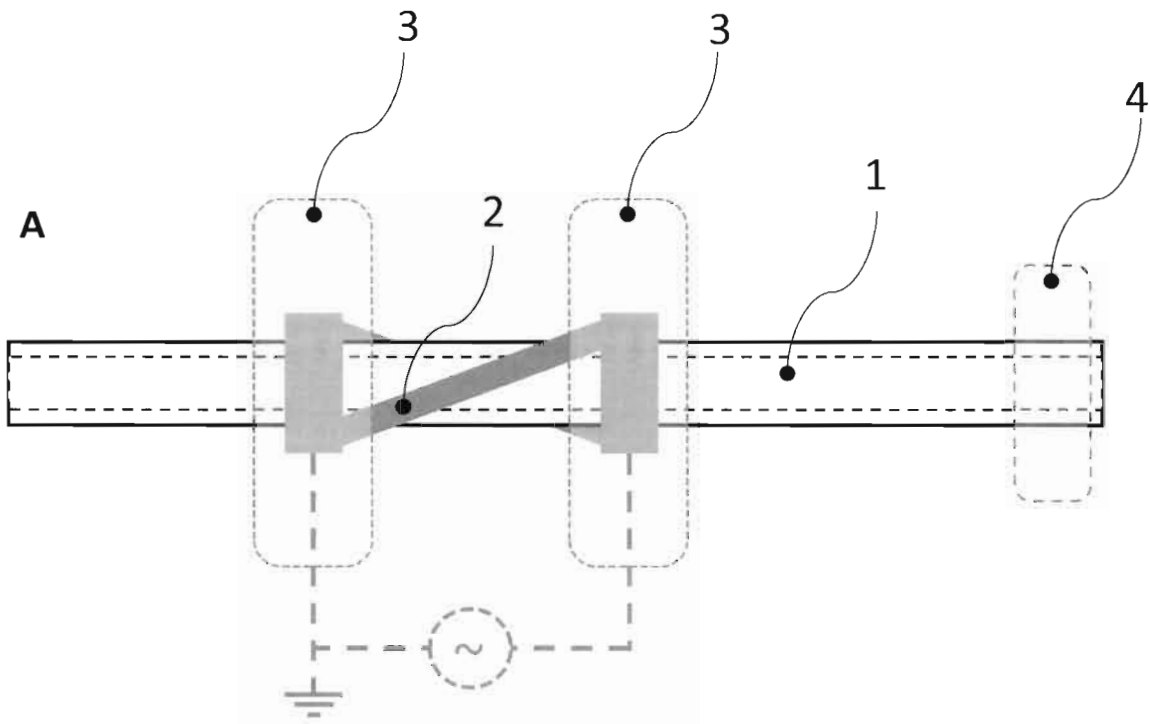


Figura 2



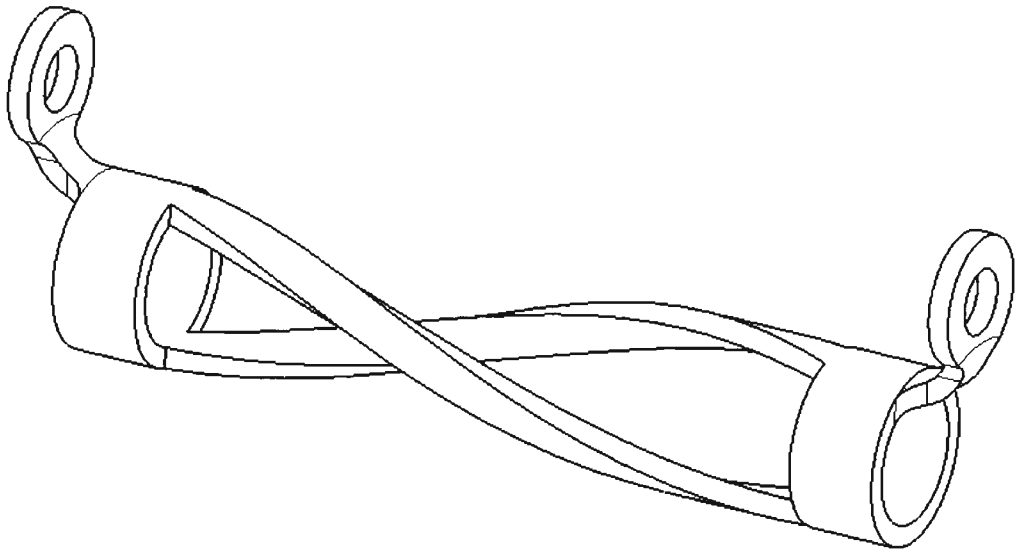


Figura 3



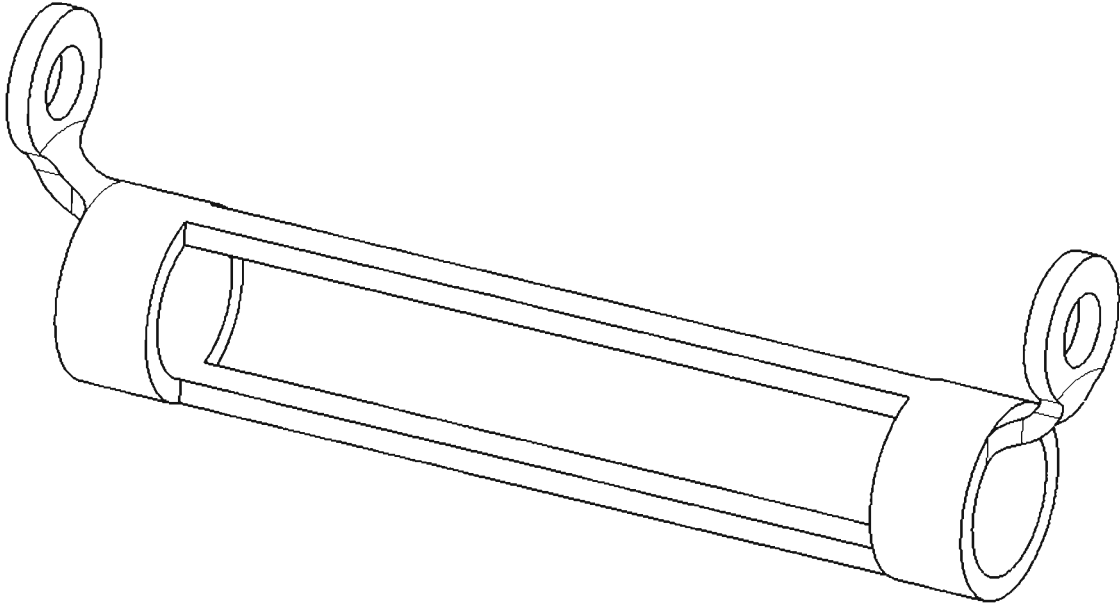


Figura 4



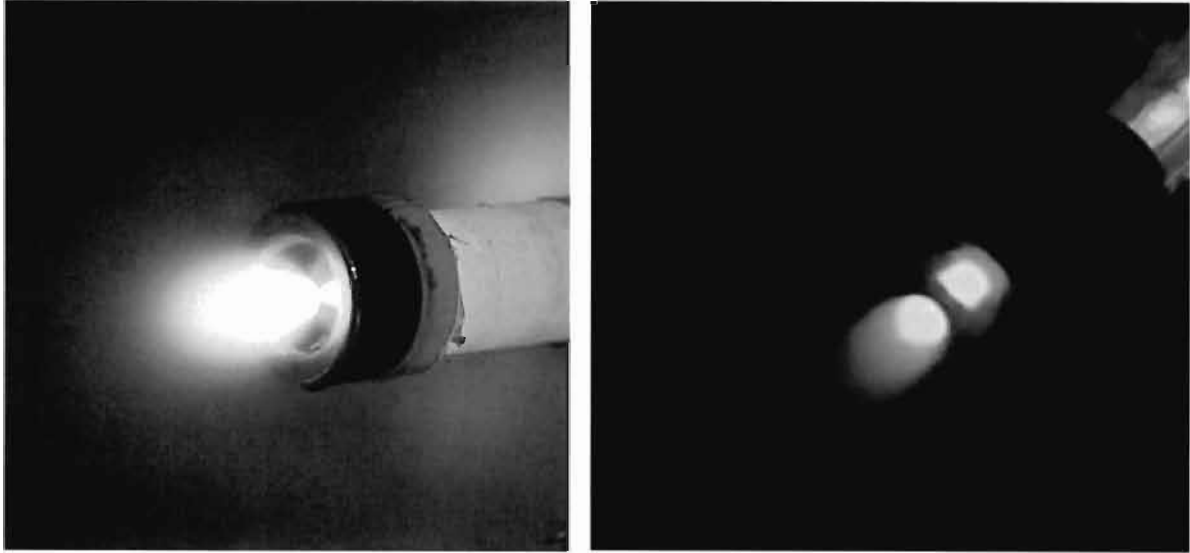


Figura 5

