

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00225**

(22) Data de depozit: **06/05/2021**

(41) Data publicării cererii:
29/11/2022 BOPI nr. **11/2022**

(71) Solicitant:
• **AUTONOMOUS FLIGHT TECHNOLOGY
R&D S.R.L.**, STR. TRAIAN, NR.152,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• **ISTRATE ALIN-IONUȚ**,
STR. DORNEASCA, NR.7, BL.P75, AP.44,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;
• **ANGHEL VICTORAȘ-FLORENTIN**,
CALEA CĂLĂRAȘI, NR.249, BL.65, AP.36,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
• **DIMA MARIUS ADRIAN**,
CALEA GIULEȘTI, NR.44, BL.7, AP.89,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;

• **LUPU ȘTEFAN VALENTIN**,
STR. SUBCETATE, NR.41, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **VIDRASCU MIHAI**, CALEA GRIVIȚEI,
NR.230, BL.3, AP.31, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **POPESCU ALINA**, ȘOS. OLTENIȚEI,
NR.47, BL.1, AP.89, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **IONESCU OCTAVIAN**, STR. GOLEȘTI
NR.15, PLOIEȘTI, PH, RO;
• **CERNICA ILEANA VIORICA**,
ALEEA PRAVAT, NR.6, BL.M2, SC.A, ET.2,
AP.12, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• **MANEA ELENA**, STR. ION CĂMPINEANU,
NR.33, SC.C, ET.4, AP.85, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **SISTEM ARIPIA ULTRAȘOARĂ ECHIPATĂ CU CELULE
FOTOVOLTAICE TEXTURIZATE PENTRU MĂRIREA
AUTONOMIEI DE ZBOR A UAV-URILOR CU PROPULSIE
ELECTRICĂ ȘI METODĂ DE REALIZARE A ACESTEIA**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem aripă ultrașoară echipată cu celule fotovoltaice texturizate pentru mărirea autonomiei de zbor a UAV-urilor cu propulsie electrică și metoda de realizare a acesteia. Sistemul, conform invenției, este compus dintr-un strat care conține o matrice (11) de celule fotovoltaice înglobate într-o rășină (15) epoxidică, un strat (14) de material compozit, un strat (16) de material de suport și un ultim strat (14) compozit, aripa fiind realizată din două secțiuni, partea superioară echipată cu celule fotovoltaice și partea inferioară fără celule, cele două secțiuni fiind asamblate prin lipire la finalul procesului de producție, iar interiorul aripii rămâne gol (13), putând fi folosit pentru echipamentele electronice care realizează integrarea matricei de celule fotovoltaice cu bateria UAV-ului asigurând algoritmul de urmărire a punctului de putere maximă (MPPT). Metoda, conform invenției, are o tehnologie de fabricație specială, asigurând integritatea celulelor fotovoltaice precum și înglobarea acestora în structura de rezistență a aripii, în primul pas al procesului de laminare se înglobează niște celule (31) fotovoltaice într-o rășină (34) epoxidică eliminând surplusul de rășină, în vederea obținerii unei structuri cu grosimea minimă, respectiv, greutate minimă, folosind un procedeu tehnologic în care rășina se introduce prin partea inferioară a unei matrice (39) și surplusul este

extras pe margini, bordul de fugă și bordul de atac al aripii, iar celulele reprezintă primul strat, urmat de un strat de folie perforată care are rolul de a lăsa excesul de rășină să iasă, după care urmează un strat (32) de folie mai mică decât o folie (35) perforată și are rolul de a bloca rășina, excesul de rășină fiind forțat să iasă pe contur, iar pentru planul de separație se introduce o folie (38), următorul strat (33) fiind realizat dintr-un material absorbant care colectează și canalizează excesul de rășină spre o țevă (36) de evacuare.

Revendicări: 2
Figuri: 5

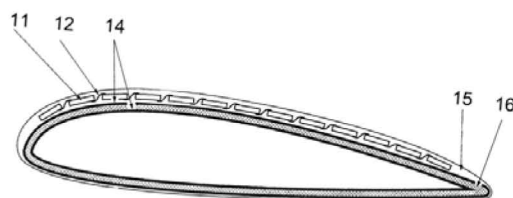


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, 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).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2021 00225
Data depozit 06-05-2021

12

Sistem aripa ultrașoară echipată cu celule fotovoltaice texturizate pentru mărirea autonomiei de zbor a UAV urilor cu propulsie electrica si metoda de realizare a acesteia

DESCRIEREA INVENȚIEI

Invenția denumită „Sistem aripa ultrașoară echipată cu celule fotovoltaice texturizate pentru mărirea autonomiei de zbor a UAV urilor cu propulsie electrica si metoda de realizare a acesteia” se referă la un sistem și la o tehnologie inovativă pentru fabricația aripilor ultrașoare echipate cu celule fotovoltaice.

In general aripile UAV-urilor (avioane fără pilot) reproduc profilul aripilor avioanelor clasice având o secțiune concav-convexa. Suprafață curbata-convexa a bordului superior al aripii reprezintă o adevărată încercare pentru cei ce încearcă sa atașeze pe aceasta celule fotovoltaice. Un prim element de dificultate este generat de faptul ca celulele fotovoltaice de înalta eficienta sunt realizate pe suport dur, drept ce nu se poate mula pe suprafață curbata a aripii, iar cel de-al doilea este generat de faptul ca unghiul de incidenta al razelor solare nu este optim, diminuând astfel randamentul de conversie al ariei de celule dispusa pe aripa. Cele mai multe celule fotovoltaice sunt realizate pe baza plachetelor de siliciu monocristalin sau policristalin. Cele mai bune rezultate in ceea ce privește eficienta celulelor fotovoltaice sunt de 29.1% pentru celule unijonctiune și 31.6% pentru celulele cu mai multe jonctiuni. Exista și celule fotovoltaice realizate in tehnologia filmelor subțiri ce folosesc GaAs (Arseniura de Galiu), însă, eficienta acestora nu depășește 13% ceea ce nu le face atractive pentru aplicații precum UAV-urile.

Sistemul de aripa ultrașoară echipată cu celulele fotovoltaice de mici dimensiuni, cu suprafață texturizată, revendicat in prezenta cerere de brevet a cărei secțiune transversala este prezentata in figura 1 este compus dintr-un strat ce conține matricea de celule fotovoltaice (11) înglobate in rășină epoxidică (15), un strat de material compozit laminat (14) realizat dintr-un strat de material compozit, un strat de material suport (16), si un ultim strat de material compozit (14). Aripa este realizata din doua secțiuni, partea superioară echipată cu celule fotovoltaice si partea inferioara fără celule, cele doua secțiuni fiind asamblate prin lipire între ele la finalul procesului de producție. Interiorul aripii rămâne gol (13), putând fi folosit pentru echipamentele electronice ce realizează integrarea matricei de celule fotovoltaice cu bateria UAV-ului asigurând algoritmul de urmărire a punctului de putere maximă (MPPT).

- Au existat tentative de a construi astfel de structuri, mai bine spus de a lipi celule pe aripa avionului [1,2,3,4,5,6]. Rezultatele nu au fost dintre cele mai bune, in primul rând datorita fragilității plachetelor de siliciu de dimensiuni mari pe care constructorii încercau sa le utilizeze si care se fisurau sau se desprindeau datorita vibrațiilor aripilor în timpul zborului. Un alt fenomen ce influenta eficienta acestor celule/plachete de mari dimensiuni era unghiul de incidenta al razelor solare ele fiind expuse sub un unghi de incidenta defavorabil in cea mai mare parte a misiunii. Pentru a evita astfel de probleme , pe aripa realizata au fost înglobate celule fotovoltaice texturizate așa cum se poate vedea in figura 3. Suprafață acestora asigura o înalta eficienta la iluminare, pentru o gama larga de unghiuri de incidenta a razelor de lumina. Texturarea suprafetei de incidenta reduce pierderile

prin reflexie și crește absorbția în domeniul spectral IR apropiat. Absorbția totală pe suprafața incidentă texturată crește de $4n^2$ ori față de aceea a suprafeței plane, figura 2. (Yablonovitch, E., 1982, *Statistical ray optics*, *Journal of the Optical Society of America*, 72(7), pp.899-907). În plus eficiența este sporită și de stratul de rășină epoxidică transparentă care se manifestă ca o lentilă concentratoare.

Dimensiunile optime ale celulelor fotovoltaice au fost stabilite după un calcul riguros și teste exhaustive asupra plăcilor de siliciu monocristalin utilizate la producția celulelor fotovoltaice. Pentru calculul de deformare al un element fotovoltaic, pe lângă caracterizarea din punct de vedere geometric și caracteristicile mecanice ale materialului este necesar a fi luate în considerare și alți parametri precum: variația caracteristicilor mecanice cu temperatura [7], mecanismele de reducere a rezistenței mecanice datorită ciclurilor de încărcare-descărcare [8], existența oxizilor la suprafața materialului etc.

O evaluare simplificată a deformărilor în funcție de diferența de presiune aplicată pe suprafața elementului fotovoltaic (folosind valori medii la temperatura ambientală [8]) a fost executată folosind teoria de calcul folosită la bare, pe cele două direcții principale ale elementului fotovoltaic (lungime, lățime). Pentru o bară sprijinită la capete și încărcată uniform, deformația maximă (săgeata maximă) apare la jumătatea distanței dintre capete. (pentru o aripă de până la 1,5 metri anvergura și viteze ale UAV-urilor de până la 250 km/h s-a determinat ca dimensiunile plăchetelor ar trebui să fie $L=20\text{mm}$ $W=10\text{mm}$).

Pentru verificarea determinărilor făcute și estimarea (grosiera) a deformațiilor maxime au fost folosite următoarele valori:

- $L = 20\text{ mm}$, lungimea elementului
- $W = 10\text{ mm}$, lățimea elementului
- $g = 0.3\text{ mm}$, grosimea elementului
- $E = 160\text{ GPa}$, modulul de elasticitate al siliciului (pentru semiconductori) [7]

Din teoria de calcul pentru bare,:

$$y(x) = \frac{w}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (x^4 - 2 \cdot D \cdot x^3 + D^3 \cdot x)$$

Unde:

$y(x)$ reprezintă deformația barei în funcție de poziția x în lungul barei,

w reprezintă încărcarea uniform distribuită în lungul barei,

E este modulul de elasticitate,

I este momentul de inerție al secțiunii,

x este poziția în lungul barei,

D este lungimea barei.

Pentru calcul L_{dir} reprezintă bara cu $D = L$ iar W_{dir} reprezintă bara cu $D = W$. Rezultatul calculului este prezentat în figura 5 (Diagramele de deformare a celulei fotovoltaice)

Pentru a verifica deformația maximă admisibilă a celulelor fotovoltaice au fost efectuate și teste distructive folosind Sistemul de testare la compresie și tracțiune de tip MECMESIN MultiTest 2,5. În urma încercărilor practice s-a constatat o săgeată maximă de deformație acceptabilă pe direcția "L" de 0.8 mm ceea ce se încadrează în calculul de deformare maximă a aripii.

Sistemul de aripa ultrașoară echipată cu celulele fotovoltaice de mici dimensiuni, cu suprafața texturizată, a cărei secțiune longitudinală este prezentată în figura 1 și care este revendicată în prezenta cerere de brevet abordează în mod diferit integrarea celulelor în structura aripii.

Tehnologia clasică de fabricație a aripii folosită până în prezent nu permite integrarea celulelor fotovoltaice, existând o probabilitate ridicată ca pe timpul vacuumării, datorită presiunii exercitate asupra acestora, să fie depășită deformarea maxim admisibilă pe zonele în care curbura aripii este mai mare de 0,5mm.

În urma cercetărilor și studiilor efectuate au fost determinate modificările necesare în procesul tehnologic pentru a asigura integrarea celulelor în aripa fără a le distruge:

Procesele actuale presupun folosirea unei tehnici de presare prin vacuum. Aceasta tehnică are avantajul de a aplica o presiune uniform distribuită și ușor de controlat. Presiunea aplicată pe o secțiune curbă poate provoca încovoirea celulelor și duce la distrugerea acestora. Pentru a elimina efectele generate de factori necunoscuți pentru a integra pașii noi introduși în procesul de fabricație s-a determinat ca laminarea să se facă în 2 etape distincte

- a. laminarea celulelor în suport de rășină
- b. laminarea structurii de rezistență (fibra de carbon în suport de rășină)

Pentru aceasta a fost realizată o tehnologie care permite înglobarea celulelor fotovoltaice în stratul de rășină protector ce acoperă suprafața exterioară a aripii care este prezentată în figura 3.

În primul pas al procesului de laminare se înglobează celulele fotovoltaice (31) în rășina epoxidică (34) eliminând însă surplusul de rășină, în vederea obținerii unei structuri cu grosimea minimă, respectiv greutate minimă. Pentru asta s-a folosit un procedeu tehnologic similar cu "înfuzia de rășină" în care rășina se introduce prin partea inferioară a matriței (39) și surplusul este extras pe margini (bordul de fugă și bordul de atac al aripii) folosind tub perforat de extracție (36). Celulele reprezintă primul strat, urmat de un strat de folie perforată (35) ce are rolul de a lăsa excesul de rășină să iasă. Urmează un strat de folie dură (32) mai mică decât folia perforată ce are dublu rol, de a canaliza rășina către zonele superioare de extracție și de a asigura o suprafață plană (materialul dur previne copierea neregularităților celulelor și a conexiunilor electrice) pe care se poate aplica stratul de material compozit. Folia (38) are rolul de a proteja planul de separație al matriței, aceasta folie se înlătură înainte de laminarea structurii de rezistență. Următorul strat (33) este realizat dintr-un material absorbant ce asigură distribuția de vacuum pe întreaga suprafață a aripii și colectează și canalizează excesul de rășină spre țeava de evacuare (36). Vacuumul se aplică prin această țeava ea fiind prevăzută și cu un rezervor tampon pentru colectarea excesului de rășină. Ultimul strat (37) este folosit pentru izolare și acoperă întreaga piesă.

După întărirea rășinii se scot straturile tehnologice și se continuă fabricația aripii prin laminarea structurii de rezistență peste stratul de rășină și celule fotovoltaice (43). În figura 4 este prezentată stratificarea. Peste matricea de celule fotovoltaice se laminează un strat de material compozit (45), urmat de un strat de material suport (44), urmat de un ultim strat de material compozit (45).

Structura multistrat astfel obținută, reproduce cu fidelitate caracteristicile geometrice complexe ale aripii, astfel păstrând performanțele aerodinamice ale aripii și prezintă avantaje structurale importante comparând cu tehnicile tradiționale de construcție. Înglobarea în rășină a celulelor fotovoltaice asigură păstrarea proprietăților aerodinamice și protejarea celulelor de factori externi (izolare pentru prevenirea oxidării, rigidizare mecanică).

Avantajele pe care sistemul de aripa ultrașoară cu celule fotovoltaice înglobate în structura acesteia îl are comparativ cu celelalte sisteme în care celulele erau lipite ulterior pe structura aripii sunt:

- Greutate redusă
- Preț de realizare redus
- Durata de funcționare extinsă datorită scăderii probabilității de fisurare a celulelor
- Eficiența sporită datorită folosirii celulelor microtexturate ce elimină dezavantajul incidenței razelor solare.



Bibliografie

- [1] ***** Solar Power for Drones & Unmanned Systems
<https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/solar-technology-for-drones/>
- [2]. Vasile PRISACARIU, UAV FLYING WING WITH A PHOTOVOLTAIC SYSTEMO, Review of the Air Force Academy No.1 (39)/2019, DOI: 10.19062/1842-9238.2019.17.1.8
- [2] Dassault Systemes, Aerospace and defence case study Solar Impulse, https://www.3ds.com/fileadmin/customer-stories/SOLAR_IMPULSE_DS_HD.pdf, accessed at 12.01.2019;
- [3] Aryan Kumar, Asha G. H., AQUILA (THE SOLAR POWERED DRONE), International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering, ISSN: 2347-6982, Volume-4, Issue-10, Oct.-2016;
- [4] Parvathy Rajendran, Muhammad Hazim Masral and Hairuniza Ahmed Kutty, Perpetual Solar-Powered Flight across Regions around the World for a Year-Long Operation, Aerospace 20/2017, vol.4; doi:10.3390/aerospace4020020, www.mdpi.com/journal/aerospace;
- [5] Bennett, E. NASA's Helios prototype—Soaring to a new record. SAMPE J. 2002, 38, 41–47; [6] https://www.nasa.gov/centers/dryden/images/content/86416main_ED03-0180-01.jpg, accessed at 12.02.2019; [7] UAS Yearbook, Unmanned aircraft systems – The Global Perspective 2011/2012, Blyenburg & Co, June 2011, Paris, ISSN 1967-1709, 216 p., www.uvs-info.com
- [6] ***** Solar powered APM plane that charges your batteries as you fly, <https://blog.dronetrest.com/solarpowered-apm-plane-that-charges-your-batteries-as-you-fly/>, accessed at 22.03.2021;
- [7] Robert O. Ritchie [“Failure of Silicon: Crack Formation and Propagation”, 13th Workshop on Crystalline Solar Cell Materials and Processes, August 2003, Vail, Colorado]
- [8] Virginia Semiconductor, Inc. [“Basic Mechanical and Thermal Properties of Silicon”, www.vrginiasemi.com]



REVENDICĂRI

1. Sistemul de aripa ultrașoară echipată cu celulele fotovoltaice de mici dimensiuni, cu suprafață texturizată, **caracterizat prin aceea că** este compus dintr-un strat ce conține matricea de celule fotovoltaice (11) înglobate în rășină epoxidică (15), o structură de material compozit formată din două straturi de material compozit (14) cu un strat de material suport la mijloc (16). Aripa este realizată din două secțiuni, partea superioară echipată cu celule fotovoltaice și partea inferioară fără celule, cele două secțiuni fiind asamblate prin lipite la finalul procesului de producție. Interiorul aripii rămâne gol (13), putând fi folosit pentru echipamentele electronice ce realizează integrarea matricei de celule fotovoltaice cu bateria UAV-ului asigurând algoritmul de urmărire a punctului de putere maximă (MPPT).
2. Metoda de realizare a „Sistemului de aripa ultrașoară echipată cu celulele fotovoltaice de mici dimensiuni, cu suprafață texturizată”, **caracterizată prin aceea că:** în primul pas al procesului de laminare se înglobează celulele fotovoltaice (31) în rășină epoxidică (34) eliminând surplusul de rășină, în vederea obținerii unei structuri cu grosimea minimă respectiv greutatea minimă, folosind un procedeu tehnologic în care rășina se introduce prin partea inferioară a matriței (39) și surplusul este extras pe margini (bordul de fugă și bordul de atac al aripii). Celulele reprezintă primul strat, urmat de un strat de folie perforată ce are rolul de a lăsa excesul de rășină să iasă. Urmează un strat de folie rigidă (32), mai mică decât folia perforată (35), ce are rolul de a canaliza rășina, excesul de rășină fiind forțat să iasă pe contur. Pentru a păstra planul de separație curat se introduce folia (38). Următorul strat (33) este realizat dintr-un material absorbant ce asigură distribuția vacuumului pe întreaga suprafață a aripii, dar și colectează și canalizează excesul de rășină spre țeava de evacuare (36). Vacuumul se aplică prin această țeavă, ea fiind prevăzută și cu un rezervor tampon pentru colectarea excesului de rășină. Ultimul strat (37) este folosit pentru izolare și acoperă întreaga piesă.



Figura 1

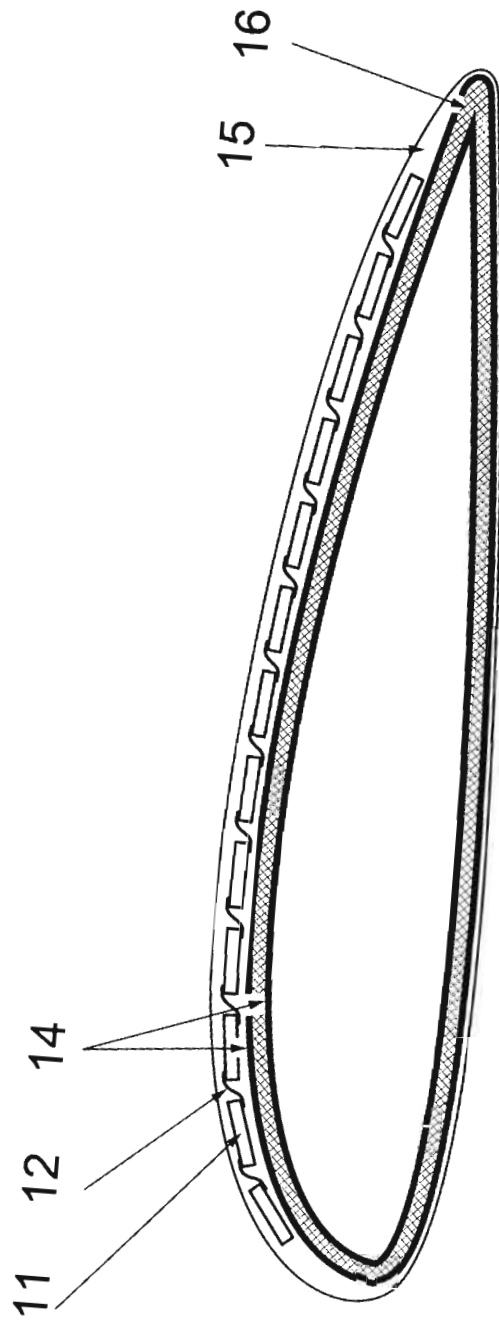
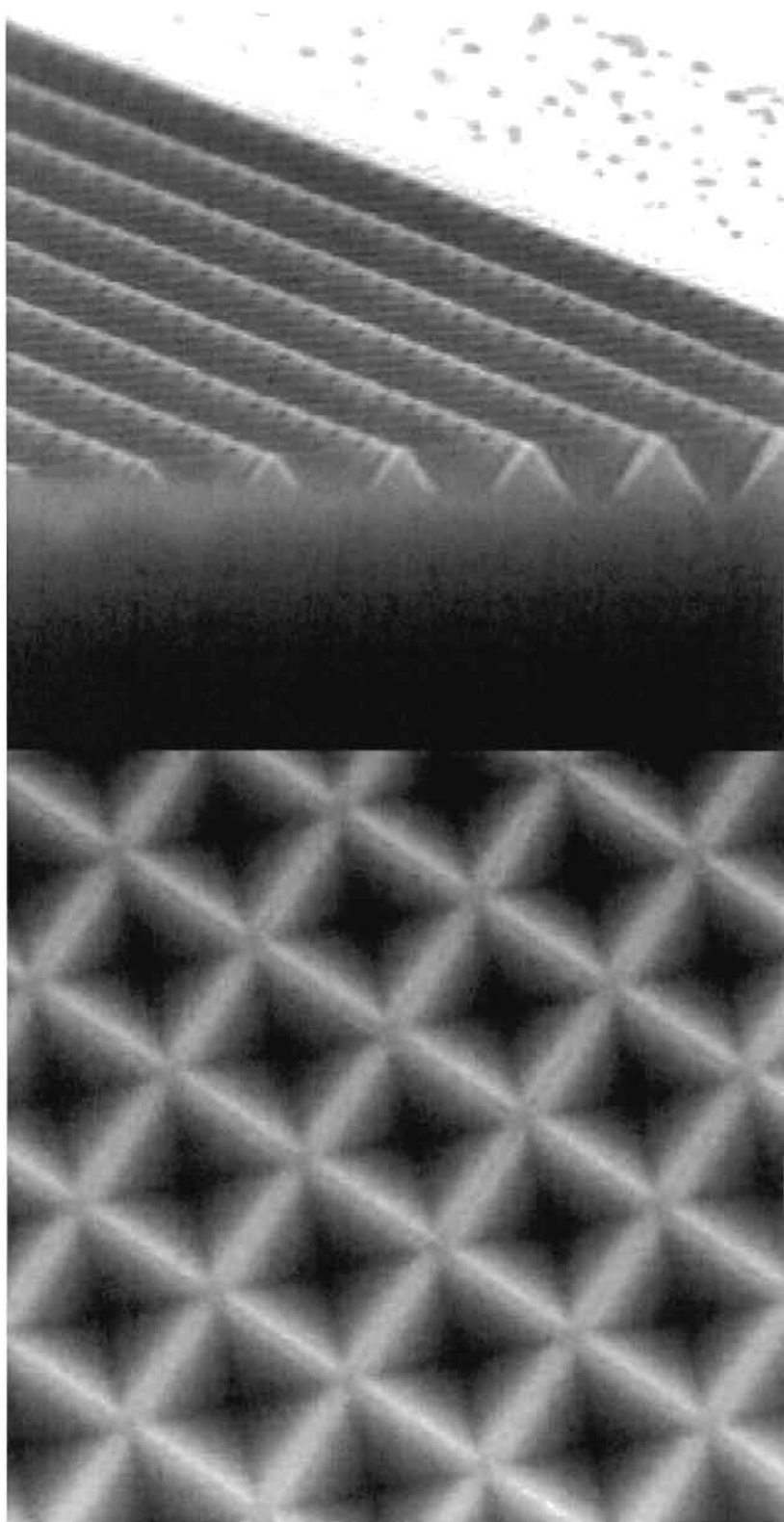


Figura 2



[Handwritten signature]

5

Figura 3

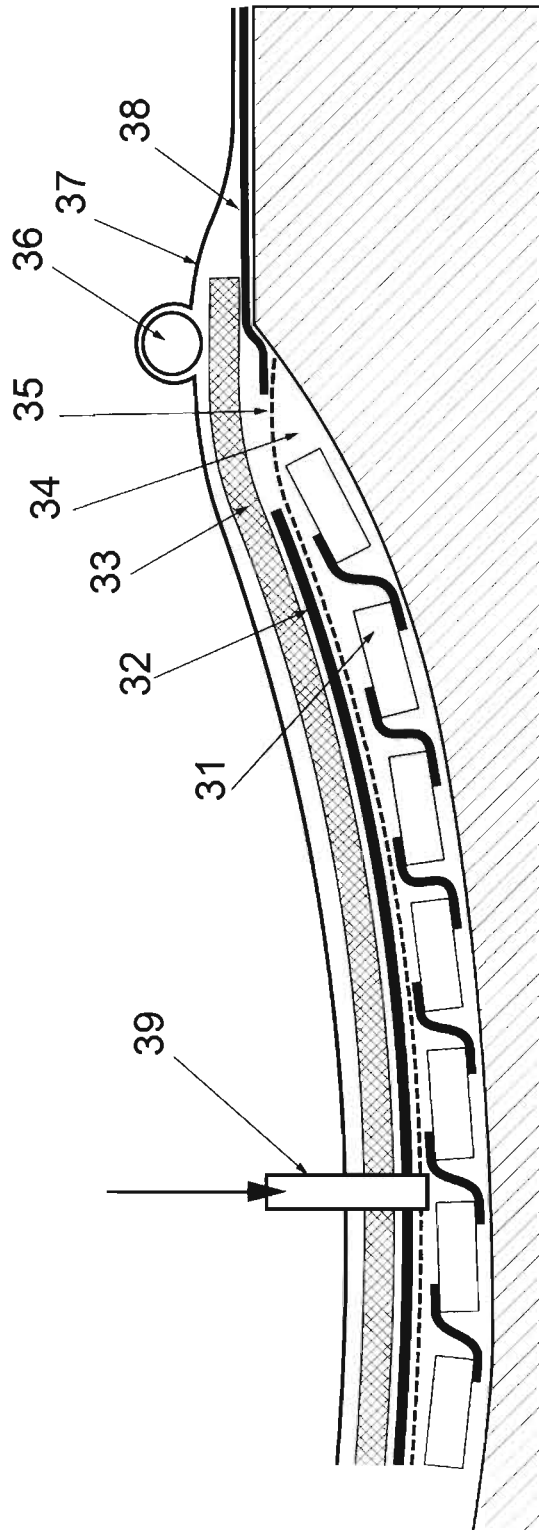
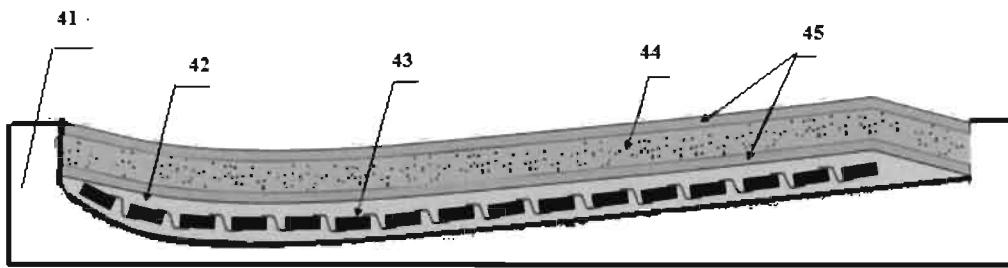


Figura 4



Pro

Figura 5

