



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00469

(22) Data de depozit: 27/06/2018

(41) Data publicării cererii:
30/03/2020 BOPI nr. 3/2020

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN
CLUJ-NAPOCA, STR. MEMORANDUMULUI
NR. 28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• GĂLĂTUȘ RAMONA VOICHIȚA,
STR. AUGUSTIN BUNEA, NR. 2,
CLUJ NAPOCA, CJ, RO;
• MARIȚA TIBERIU,
STR. DIMITRIE CANTEMIR NR. 13, AP. 1,
COD 400067, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(54) SISTEM BIOSENZOR SPR CU SCANARE UNGHIULARĂ
AUTOMATĂ, AVÂND O IMPLEMENTARE BAZATĂ
PE CUPLAJUL CU PRISMĂ RETROREFLECTOARE
ȘI MICROCONTROLLER. ACRONIM: μ C-RetroSPR

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem biosenzor (SPR) cu scanare unghiulară automată. Sistemul conform invenției este destinat detecției modificărilor indicelui de refracție în concentrația unei cantități extrem de mici dintr-o componentă țintă, și este compus dintr-un modul de control electromecanic, un modul optic și un modul de procesare a datelor, modulul de control electromecanic permițând scanarea unghiulară automată a cipului (SPR) bazat pe un cuplaj cu prismă retroreflectoare, din modulul optic, un motor pas cu pas care generează o mișcare circulară a cipului, cu un pas de mare rezoluție, modulul de procesare a datelor corelând poziția prisme care cuplează semnalul unui emițător pe cip cu semnalul reflectat de pe suprafața cipului, și înregistrat cu ajutorul unui fotodetector, evidențiindu-se astfel unghiul de rezonanță ca o valoare de minim a puterii optice înregistrate de fotodetector.

Revendicări: 5

Figuri: 9

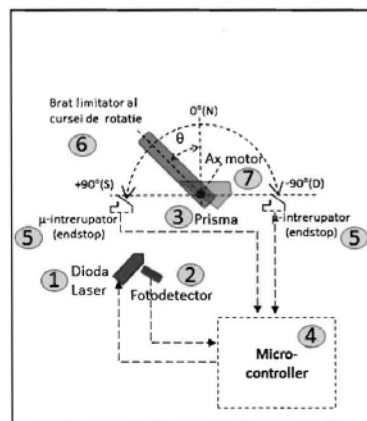


Fig. 1



DESCRIERE

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a	2018 00469
Data depozit ..27..06..2018....	

Invenția se referă la un „Sistem biosenzor SPR cu scanare unghiulară automată, având o implementare bazată pe cuplajul cu prismă retroreflectoare și microcontroler”.

Acronim: **μC-RetroSPR**

Prezenta invenție vizează dezvoltarea unui biosenzor care funcționează pe baza fenomenului de plasmoni de suprafață (SPR)^{[1]*} pentru a detecta modificările indicelui de refracție în concentrația unei cantități extrem de mici dintr-o componentă țintă (analit), pe baza corespondenței puterii optice cu lungimea de undă de rezonanță (spectrometric) sau a unghiului de rezonanță (la analiza în amplitudine). Existența plasmonilor a fost demonstrată experimental în anul 1968 - configurația lui Otto (prismă-dielectric-metal) și aprofundată în 1971- configurația Kretschmann și Raethe (prismă-metal). Optimizarea configurației experimentale datorate evoluției tehnologice ^[2] și îmbunătățirea performanțelor parametrilor cinetici pentru interacțiunile bio-moleculare în ce privește chimia de suprafață a biosenzorilor (nanoparticule magnetice ^[3]), conduc la îmbunătățirea continuă a performanțelor sistemelor cu SPR. Aceasta face cu putință obținerea unor sisteme portabile, ușor de utilizat, care se diferențiază prin complexitatea implementării hardware, ca de exemplu număr de canale de analiză, timp de analiză, sensibilitate, interval de detecție și grad de generalitate pentru detecție (*directă* sau *indirectă* folosind o chimie de suprafață pentru o aplicație dedicată) și costul asociat. În prezent se evidențiază numărul ridicat de patente de invenție pentru diverse geometrii de implementare a unor sisteme SPR, ceea ce demonstrează importanța acordată fenomenului de plasmoni de suprafață, dintre care se evidențiază Brevetele ^{[4],[5],[6]}.

Scopul prezentei invenții este de a implementa un sistem cu componente hardware accesibile ca preț dedicat clasificărilor plasmonice, în timp real atât:

- *direct*, a unor substanțe lichide cu indici de refracție care variază în intervalul $n=1.33-1.5$ sau gazoase în intervalul $n=1-1.15$, cu o sensibilitate de detecție de $S=2 \times 10^{(-5)}$.

*NOTĂ – cu simbolul superscript [] se face referire la secțiunea Bibliografie de pe ultima pagină (exemplu [1])

** NOTĂ – cu simbolul () se face referire la componente din Figuri din secțiunea Desene

Vasile Tobă



- *indirect*, printr-o chimie de suprafață optimizată, dedicată aplicației vizate.

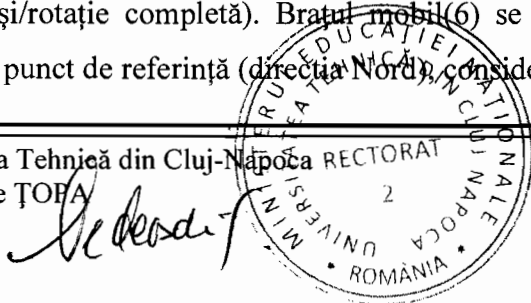
Se elimină dezavantajul de implementare a schemei mecanice tradiționale la cuplajul cu prismă în sistemele SPR, unde scanarea unghiulară automată se realizează prin variația unghiului de incidență atât a emițătorului (Driver Laser sau LED) cât și a receptorului (Driver fotodiodă, CCD). Se cunoaște faptul ca părțile mecanice reduc timpul de viață al unui dispozitiv și este necesară găsirea soluției de reducere/optimizare a numărului de angrenaje în mișcare.

Problema pe care o rezolvă invenția este de a construi un sistem integrat electro-optic SPR nou, ușor de implementat în laborator, de dimensiuni mici, portabil, pentru clasificarea rapidă a analiților (gaz sau lichide).

Componentele sistemului referite în descriere sunt: (1)** - emițătorul: dioda laser, (2) - fotodetectorul: celula fotovoltaică, (3) - prisma retroreflectoare cu fețele (3.1) - retroreflectoare și (3.2) - fața la 45^0 , (4) - microcontroler, (5) - micro-întrerupătoare, (6) - braț limitator al cursei de rotație, (7) - axul motorului, (8) - chip SPR, (9) - polarizor, (10) - suport de fixare, (11) - sursa de alimentare 1 la 5V, (12) - sursa de alimentare 2 la 12V, (13) - driver motor, (14) - Motor stepper, (15) - Interfața de intrare/ieșire.

Părțile mecanice sunt optimizate prin introducerea unui cuplaj optic inovativ cu prisma retroreflectoare(3) plasată pe un braț rotativ(6) comandat de un motor pas cu pas(14) de mare rezoluție, respectiv cu emițătorul(1) și receptorul(2) în poziții fixe(10) pe platforma cu microcontroler-ul(4). Analiza răspunsului plasmonic se realizează cu un fotodetector(2) având o suprafață utilă mare, sensibilă pe întreaga plajă de unghiuri de reflexie de pe chipulul SPR(8), fixat cu lichid de imersiune (G608N3-Thorlabs- index-matching) pe prisma mobilă(3), ele fiind ușor de înlocuit.

Principiul de funcționare: Sistemul folosește un dispozitiv de antrenare (fig. 1 și 2) a sistemului de cuplaj optic a CIP-ului SPR(8) (CIP TED Pella Inc, Glass Coverslips, 50nm Au – fig. 3)^[7] bazat pe o prismă retroreflectoare cu unghi drept(3) (ARD-Optics) plasată în centrul de rotație(7) al unui brat mobil(6) acționat de un motor pas cu pas(14) de mare rezoluție (400 pași/rotație completă). Bratul mobil(6) se poate roti cu câte 90^0 stânga și dreapta față de un punct de referință (direcția Nord), considerat poziție neutră a sistemului, cu



un pas reglabil din meniul de comandă (15), cu rezoluția maximă de 0.11 grade / micropas. Odată cu bratul mobil(6), se rotește și prisma(3), care este fixată în centrul de rotație(7) (mijlocul suprafeței oblice-stânga a prisme(3.2) coincide cu centrul axei motorului(7)). Reglarea amplitudinii maxime de mișcare circulară a brațului mobil(6) se face cu două limitatoare de cursă(5) (implementate cu micro-întrerupătoare „Endstop”) [8] în stânga și în dreapta traiectoriei circulare de 180 grade (-90 ... 90 grade). Cu ajutorul limitatoarelor de cursă(5) s-a dezvoltat o procedură de poziționare automată a brațului mobil(6) în poziția neutră (0 grade). Poziția neutră este considerată și poziție de repaus în care fața superioară a prisme(3) este orizontală, raza emisă de dioda laser (1) având un unghi de incidență la 45 grade relativ la fața superioară a prisme și 0 grade relativ la fața oblica-stânga(3.2) a prisme.

Generarea unei mișcări circulare asupra prisme(3) face posibilă modificarea unghiului de incidență a semnalului optic pe cip-ul orizontal SPR(8) (fig. 4), pe care se realizează determinările chimice. Cip-ul(8) este poziționat pe partea superioară a prisme(3) cu ajutorul unui lichid de imersiune care adaptează indicele de refracție a prisme cu substratul transparent optic al chip-ului SPR(8) (sticla). Cip-ul SPR(8) este constituit din substrat de sticlă de dimensiunea bazei prisme având grosimea substratului de 0.13 mm și un strat de aur de 50nm. Prin scanare automată cu unghiuri de incidență diferite a semnalului optic, se înregistrează răspunsul plasmonic care atestă comportamentul senzorului și deci evidențiază condiția de rezonanță unghiulară pentru clasificarea de tip „label-free” a analitului. Răspunsul plasmonic este înregistrat prin interogare optică de o celulă fotovoltaică(2) [9] ca foto-detector (fig. 4 și 5), pentru a asigura o suprafață de cuplaj mai mare pentru gama de măsurători realizate cu diverși analiti. Răspunsul electrochimic al chip-ului SPR(8) completează sensibilitatea de detecție a analitului prin caracterizare electrochimică a chipului SPR, legat la un potentiostat portabil (PalmSens). Analitul este adus în contact cu suprafața chip-ului(8) printr-un creuzet de plastic cu un canal fixat prin strângere, la care sunt cuplate tuburile prin care curge lichidul acționat de o pompă peristaltică.

Diagrama bloc a întregului sistem este prezentată în fig. 6. Modulul electromecanic de control al mișcării este realizat cu un microcontroler(4), un driver de motor(13), un motor stepper(14) și microîntrerupătoare endstop(5) pentru limitarea cursei de rotație (fig. 1 și 7). Ca și microcontroler(4) s-a folosit modelul Atmega328 (Atmel) care este ideal pentru sisteme care necesită spații mici și soluții de cost mic la performanțe scalabile. Dintre plăcile de dezvoltare care integrează acest microcontroler amintim cele de tip UNO [10] cu interfața de

intrare/ieșire serială sau Bluno Nano (DFRobot)^[11] cu interfața de intrare/ieșire Bluetooth 4.0. Aceste plăci de dezvoltare permit conectarea prin portul serial atât cu un calculator desktop-ul prin interfața „Serial Monitor” din IDE-ul Arduino cat și la dispozitive mobile prin conexiunea USB-OTG și aplicația „Bluino” sau care suportă conexiunea Bluetooth 4.0 prin aplicația „BlunoRemote”.

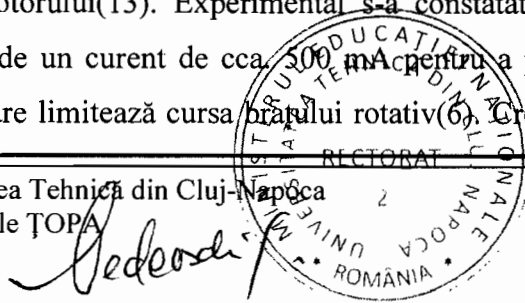
Pentru controlul motorului s-a folosit driverul „EasyDriver”(13) produs de Sparkfun^[12], bazat pe circuitul integrat A3967 care permite micro-pășire. Driverul este alimentat la o tensiune de 12V (plaja de alimentare fiind 6 – 30 V) și generează un curent reglabil între 250 și 700 mA / fază. Pentru modulul de pășire s-a folosit setarea implicită (MS1=High, MS2 = High) care permite o rezoluție maximă de 8 micro-pași / pas. Pentru controlul pășirii se folosesc pinii DIR și STEP (fig. 8). Pentru setarea sensului de rotație (direct/anti-orar: DIR=High; invers/orar: DIR=Low). Pășirea/micro-pășirea este determinată de aplicarea unor impulsuri de tensiune (5V) pe pinul STEP (1 micropas / impuls). Viteza de pășire este invers proporțională cu perioada acestor impulsuri, iar cuplul motor generat este proporțional cu perioada impulsurilor și curentul generat prin înfășurăturile /fazele motorului.

Motorul stepper(14) folosit (model 42BYGHM809 de tip Nema 17 / arbore motor cu diametrul de 5 mm)^[13] este de tip biploar (2 bobine / 4 fire de conexiune). Motorul(14) are o rezoluție de 400 pași / rotație completă (0.9 grade / pas) și un cuplu maxim de 4.8kg*cm.

Brațul limitatorului de cursă(6) (fixat pe axul-motor(7) cu un conector de aluminiu dedicat) are o lungime de 5 cm și la capătul lui este fixat un surub care va acționa microîntrerupătoarele(5) de tip „endstop” pentru limitarea rotației la intervalul -90° .. +90°. *Poziția neutră* corespunde poziției verticale a brațului (0°), și este determinată prin poziționarea brațului la mijlocul intervalului dat de cele 2 limitatoare Endstop. Modulul electromecanic de control este dotat și cu o interfață cu utilizatorul(15), de tip linie de comandă implementat prin intermediul ferestrei „Serial Monitor”^[14] pusă la dispoziție de sistemul de dezvoltare Arduino „Arduino IDE” (fig. 9).

Descriere produs. Parametrii de funcționare care pot fi controlați sunt:

- Cuplul motorului pas cu pas(14) – poate fi controlat prin intermediul curentului generat de driver prin bobinele motorului(14), setat prin reglajul hardware al potențiometrului driverului motorului(13). Experimental s-a constatat că, pentru configurația realizată, este necesar de un curent de cca. 500 mA pentru a putea acționa comutatoarele de tip endstop(5) care limitează cursa brațului rotativ(6). Creșterea nivelului curentului generat



de driver duce la creșterea puterii disipate și implicit a temperaturii pe chipul driverului(13). Din acest motiv s-a implementat o funcție ce permite intrarea driverului în modul „sleep” care dezactivează ieșirile driverului și minimizează consumul de curent. Modul sleep poate fi activat prin setarea pinului SLP al driverului (SLP=Low, fig. 8), prin intermediul interfeței software(15).

- Rezoluția de pășire – este reglată prin intermediul unor funcții software care permit rotația cu un număr întreg de micropași ($0.11 \text{ grade} / \text{micropas}$) sau un număr de grade. Micro-pășirea este implementată prin generarea unui secvențe de impulsuri ($1 \text{ impuls} / \text{micropas}$). Pășirea cu rezoluție de grade se face prin aplicarea unui număr adecvat de micropași ($\text{nr_micropasi} = \text{grade} * 2/0.225$).
- Viteza de pășire - este reglată prin intermediul perioadei impulsurilor generate / trimise pe pinul STEP al driverului: $\text{viteza} = 70 / T$ (T: semiperioada impulsului în μs). Valoarea pentru viteza de pășire este specificată ca și parametru al funcțiilor care implementează rotația / pășirea. Valorile posibile pentru parametrul de viteză pot fi cuprinse în intervalul $0.1 \dots 1.0$. Cuplul generat de motor va fi invers proportional cu viteza de pășire.

Utilizarea meniului. Accesul și navigarea în meniul de tip linie de comandă(15) se face prin intermediul unor caractere alfanumerice introduse în fereastra „Serial Monitor” a mediului de dezvoltare/programare (Arduino IDE) (fig. 9). Principalele opțiuni/funcții implementate sunt:

Funcții de bază (primare):

- ‘s’ Sleep: punerea driverului în mod SLEEP (pinul SLP = Low), ” care dezactivează ieșirile driverului și minimizează consumul de curent; utilă când nu se folosește motorul
- ‘w’ WakeUp: scoaterea driverului în mod SLEEP (pinul SLP = High), necesară pentru funcționarea motorului
- ‘1’ Laser ON – pornește dioda laser
- ‘0’ Laser OFF – oprește dioda laser
- ‘v’ Measure voltage – măsoară tensiune generată pe fotodetector (se aplica un filtru de tip medie aritmetică pe 10 măsurători consecutive realizat la un interval de 10 ms, pentru filtrarea zgomotelor), fotodetectorul este conectat la intrarea analogică A5 a microcontollerului (fig. 8)

- '+' Step forward (counter - clockwise) 1 microstep – realizează o micropășire (rotație cu +0.11 grade) în sens direct/antiorar
- '-' Step backward (clockwise) 1 microstep – realizează o micropasire (rotație cu -0.11 grade) în sens invers/orar
- 'f' Step forward (counter - clockwise) 1 degree - realizează o (rotație cu +1 grade) în sens direct/antiorar
- 'b' Step backward (clockwise) 1 degree - realizează o (rotație cu -1 grade) în sens invers/orar
- 'L' Step forward (counter clockwise) until LSW is reached – rotație în sens direct (antiorar) din poziția curentă până la activarea (închiderea) microintrepătorului endstop din partea stângă (LSW)
- 'R' Step backward (clockwise) until RSW is reached – rotație în sens invers (orar) din poziția curentă până la activarea (închiderea) microintrepătorului endstop din partea dreaptă (RSW)

Funcții extinse:

- 'N' Neutral position – poziționează axul motorului (brațul limitator de cursa) și prisma în poziție neutră; poziționarea se face prin apelul succesiv a comenzilor „L Step forward (counter clockwise) until LSW is reached” respectiv „R Step backward (clockwise) until RSW is reached, numărarea micropasilor (nr_micropasi) efectuați în cursa în sens invers / orar (RSW -> LSW) și apoi rotația în sens direct (antiorar) cu un număr de nr_micropasi/2. Durata maximă a acestei proceduri este de 8s pentru o setare de viteză de 0.1 (viteza mică / cuplu mare).
- 'c' Perform a full cycle: -15 ... +45 deg – realizează un ciclu complet de măsurare prin rotația axului motor (și implicit a prisme) în intervalul specificat de -15 ... +45 grade față de poziția neutră. Acest interval a fost ales experimental astfel încât raza reflectată de prismă să se proiecteze pe suprafața fotodetectorului/celulei fotovoltaice) Rotația prisme și citirea valorii fotodetectorului se face cu o rezoluție de 1 grad (dar poate fi modificată până la rezoluția maximă: 0.11 grade/pas). Durata acestei proceduri este de 6s pentru o setare de viteză de 0.1 (viteza mică / cuplu mare). Ieșirea acestei proceduri este afișată în interfață prin perechi de valori (pas, unghi, tensiune), pentru fiecare pas/unghi de rotație (fig. 8)



51

Specificații tehnice ale componentelor din sistem

Specificații surse de alimentare (11) și (12)

Tensiunea de alimentare a microcontrolerului (1)	5 V cc
Tensiunea de alimentare a driverului motorului (2)	12 V cc

Specificațiile driverului motorului(13):

Tensiunea de alimentare	6 – 30 V
Curent prin bobinele motorului	150- 700 mA / faza

Specificațiile motorului pas cu pas(14):

Rezoluția unghiulară:	0.9 grade/pas
Nr. faze:	2
Voltaj recomandat)	12V
Curent maxim:	1.7 A
Cuplu motor	cuplu maxim 4.8kg*cm
Diametru arbore motor	5 mm
Tip montant de fixare	Nema 17

Specificațiile comutatoarelor endstop(5):

Sarcină admisibilă	5 A
Clasă etanșeitate	IP40
Dimensiuni carcasă	19.8 x 6.4 x 10.6mm
Temperatura de lucru	-25...65°C
Forță de comutare	1.5N
Lungime manetă	17mm
Durabilitate electrică	30000cicluri
Rezistență contact	max. 30mΩ
Rezistență izolație	min. 100MΩ
Raster terminale	7.3mm

Specificațiile modului de control electromecanic:

Amplitudinea de rotație a brațului limitator de cursa(6)	180° (-90° .. +90°)
Lungimea a brațului limitator de cursa(6)	50 mm
Rezoluția de pășire maxima a motorului(14)	0.11°/micropas
Viteza de rotație	0.1 .. 1

Specificațiile modului optic:

Curentul prin dioda laser (DL)(1)	2.5 mA
Rezistența de limitare a curentului prin DL	1.2 kΩ
Putere emisă de DL (1)	5mW
Lungimea de undă a radiației emise	650 nm
Distanța dintre DL și prismă(3)	60 mm
Suprafața activă a fotodetectorului (L x W x H)(2)	22 x 7 x 1.8 [mm]
Tensiune la bornele fotodetectorului(2)	1.5V
Curentul generat de fotodetector(2)	13.38



Bibliografie:

- [1] Masahiro Yamamoto, Surface Plasmon Resonance (SPR) Theory, Department of Chemistry of functional molecules, Konan University, Kobe 658-8501, Japan, http://www.chem.konan-u.ac.jp/applphys/web_material/spr_tutorial/sprtheory.html
- [2] Nunzio Cennamo, Davide Massarotti, **Ramona Galatus**, Laura Conte and Luigi Zeni, Performance Comparison of Two Sensors Based on Surface Plasmon Resonance în a Plastic Optical Fiber, *Sensors* 2013, 13, 721-735; doi:10.3390/s130100721
- [3] Cecilia Cristea, Mihaela Tertis, and **Ramona Galatus**, Magnetic Nanoparticles for Antibiotics Detection, *Nanomaterials* 2017, 7, 119; doi:10.3390/nano7060119
- [4]. Patent CN206223648 (U) — 2017-06-06: ZHONG SHUNCONG; HUANG YI; YAO HAIZI et al , High performance SPR object refracting index sensor device , <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/>
- [5] Patent CN106996924 (A) — 2017-08-01: QIU HONGXING; LIU LINLIN; MAO PEI; DU WEIXIANG; LI RUHUA; XU SHENGAN, Angle scanning type SPR (Surface Plasmon Resonance) sensor system
- [6] Patent CN206411006 (U) — 2017-08-15: MENG FANWEI; CHEN SHUN; YU JIE - Hand -held type SPR detector
- [7] http://www.tedpella.com/vacuum_html/substrates_supports_wafers_slides.htm#260156-G, CIP SPR, citat iunie 2018.
- [8] Robofun, Microintrerupator Endstop, <https://www.robofun.ro/microintrerupator-endstop>, citat iunie 2018.
- [9] IXOLARTM High Efficiency SolarBIT, datasheet, <http://www.ti.com/lit/ug/tidu383/tidu383.pdf>, citat mai 2018.
- [10] Arduino UNO, <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>, citat iunie 2018.
- [11] Bluno Nano (DFRobot), <https://www.dfrobot.com/product-1122.html>, citat iunie 2018.
- [12] Sparkfun, „Easy Driver”, <https://www.sparkfun.com/products/12779>, citat iunie 2018.
- [13] Fisa tehnica motor stepper 400 pasi / rotatie completa <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Robotics/42BYGHM809.PDF>, citat iunie 2018.
- [14] Arduino IDE, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, citat iunie 2018.
- <https://www.dfrobot.com/product-1122.html>



DESENE

Figura 1. Schema bloc a modului electromecanic de control al mișcării și a modului optic cu senzor SPR – vedere din față

Figura 2. Vedere din față a sistemului (modul de control electromecanic + modul optic) cu senzor SPR

Figura 3. Chip-urile SPR

Figura 4. Schema modului optic

Figura 5. Vedere detaliată a emițătorului (dioda laser) și a fotodetectorului (celula fotovoltaică)

Figura 6. Diagrama bloc a sistemului (modul de control electromecanic + modul optic) cu senzor SPR

Figura 7. Vedere din spate a modului electromecanic de control al mișcării

Figura 8. Schema de interconectare a componentelor sistemului (modul de control electromecanic + modul optic + interfața de intrare/ieșire)

Figura 9. Meniul interfeței utilizator de tip linie de comandă implementată în fereastra „Serial Monitor” (Arduino IDE)



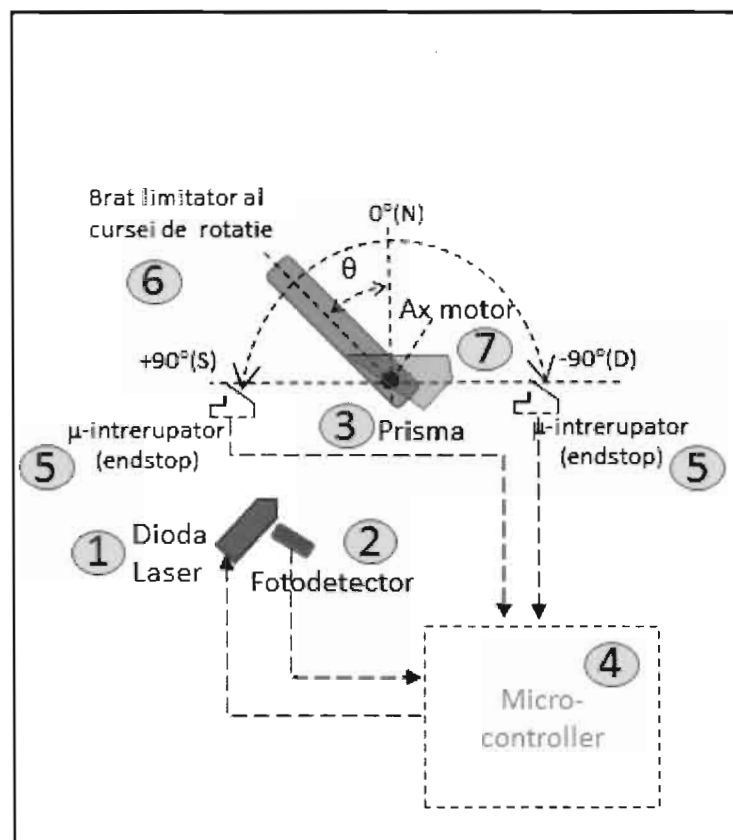
REVENDICĂRI

„Sistem biosenzor SPR cu scanare unghiulară automată, având o implementare bazată pe cuplajul cu prisma retroreflectoare si microcontroler” care permite clasificarea variației indicilor de refracție (de tip label-free) a unor analiți de la suprafața cip-ului SPR.

Sistemul cu senzor SPR caracterizat prin scanare unghiulară automată a cip-ului plasmonic **este caracterizat prin următoarele elemente de noutate** introduse în prezenta invenție:

1. *Un modul de poziționare cu un singur element în mișcare:* un braț limitator de cursă (6), controlat de un motor pas cu pas (14) de mare precizie în al cărui centru de rotație este fixată prisma (3);
2. *Un procedeu de calibrare a punctului neutru al sistemului* (punctul neutru corespunde acelei orientări a prisme (3) pentru care fața ei superioară (3.1) pe care este fixat chip-ul plasmonic (8) este în poziția orizontală): implementată cu brațul limitator al cursei de rotație (6), două întrerupătoare endstop de limitare a cursei (5) și o rutină software;
3. *Un procedeu de orientare automată, unghiulară a prisme (3) reproductibilă* în timp cu o precizie dată de acuratețea de micro-pășire (0.11 grade) a motorului pas cu pas (14) față de punctul neutru și o rutină software aferentă;
4. *O arhitectură nouă a modului optic* (figura 4) obținută prin:
 - plasarea prisme retroreflectoare (3) cu mijlocul feței de 45 de grade în centrul de rotație al brațului limitator de cursă (6) (identic cu axul de rotație al motorului (7));
 - plasarea diodei laser (1) astfel încât direcția de propagare a fasciculului luminos să intersecteze axul motorului și să fie perpendiculară pe fața de 45 de grade a prisme (3.2) când prisma este în poziția neutră;
 - folosirea pe post de fotodetector a unei celule fotovoltaice (2) plasată chiar lângă dioda laser (figura 5), cu latura lungă ($L=22$ mm) paralelă cu planul de rotație a brațului mobil (6);
 - această arhitectură permite realizarea unei curse de rotație între -15^0 și $+45^0$ a prisme (3), echivalentă cu deplasarea spotului reflectat al diodei laser de către prisma retroreflectoare (3) pe suprafața activă a celulei fotovoltaice (2), cu o cursă de cca. 1.2 cm pe direcția longitudinală L a celulei fotovoltaice (2), în interiorul suprafeței fotosensibile;
5. *Un procedeu de poziționare reproductibilă a unghiului de orientare a prisme care corespunde rezonanței plasmonice* (punct de minim al tensiunii măsurate pe celula fotovoltaică), implementată cu ajutorul sistemului de poziționare, modului optic și a unei rutine software aferente, opțiune care permite *analiza kinetică* (evoluția în timp a răspunsului plasmonic pentru unghiul de rezonanță plasmonică fixat, ce corespunde etapelor reacțiilor chimice de la suprafața chip-ului SPR).

Figura 1. Schema bloc a modului electromecanic de control al miscarii si a modului optic cu senzor SPR – vedere din față

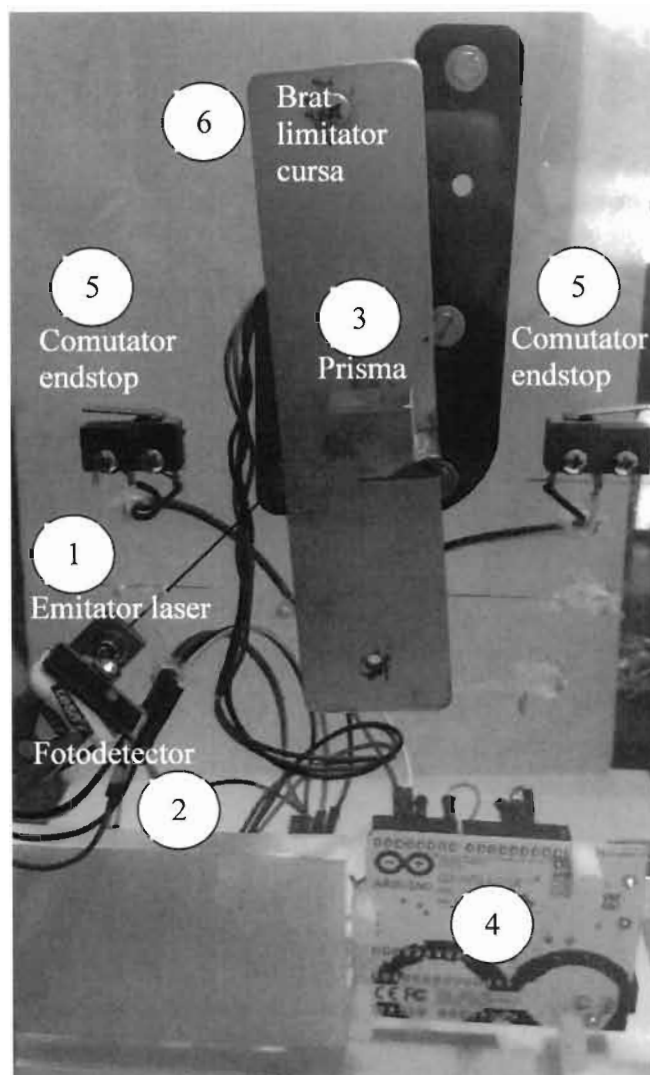


Vedere fata

- ① Dioda laser
- ② Fotodetector
- ③ Prisma
- ④ Microcontroler
- ⑤ μ -intrerupator (endstop)
- ⑥ Brat limitator cursa de rotatie
- ⑦ Ax motor

76

Figura 2. Vedere din fata a sistemului (modul de control electromecanic + modul optic) cu senzor SPR



45

Figura 3. Chip-urile SPR



Figura 4. Schema modulului optic

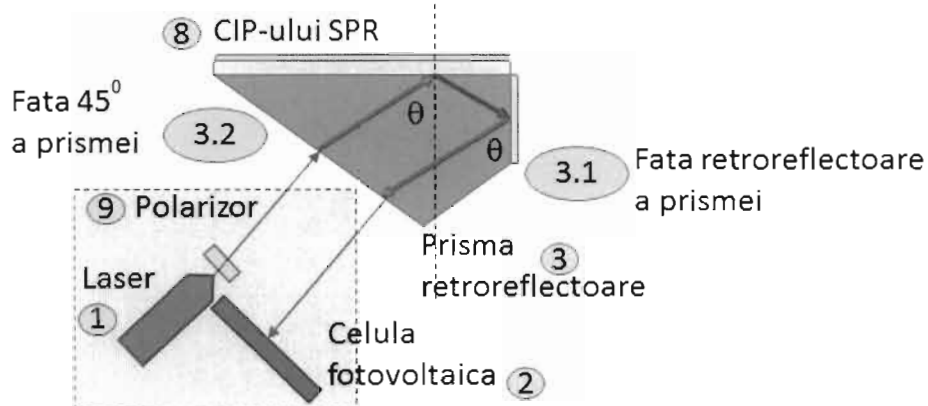
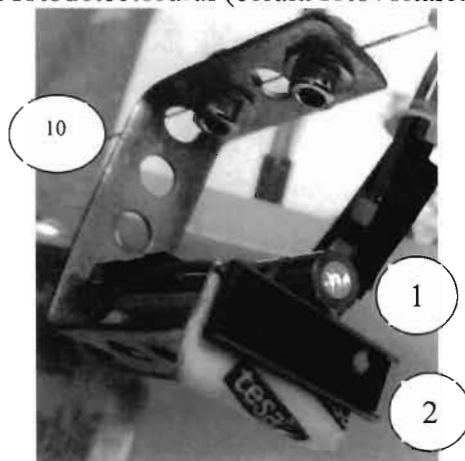


Figura 5. Vedere detaliata a emițătorului (dioda laser) și a fotodetectorului (celula fotovoltaică)



Legenda : 10 Suport de fixare

Vasile ȚOPA



Figura 6. Diagrama bloc a sistemului (modul de control electromecanic + modul optic) cu senzor SPR

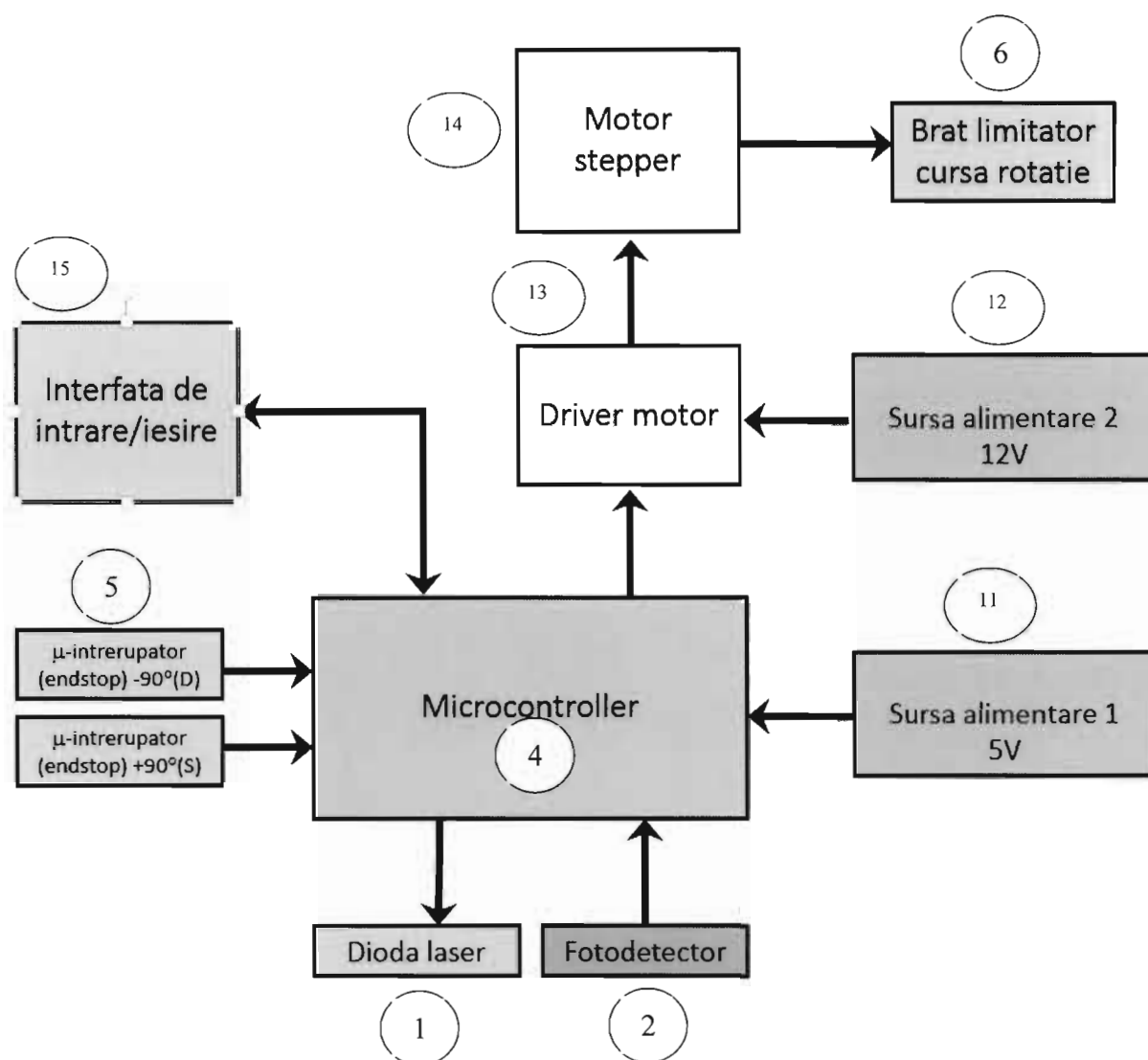


Figura 7. Vedere din spate a modului electromecanic de control al mișcării

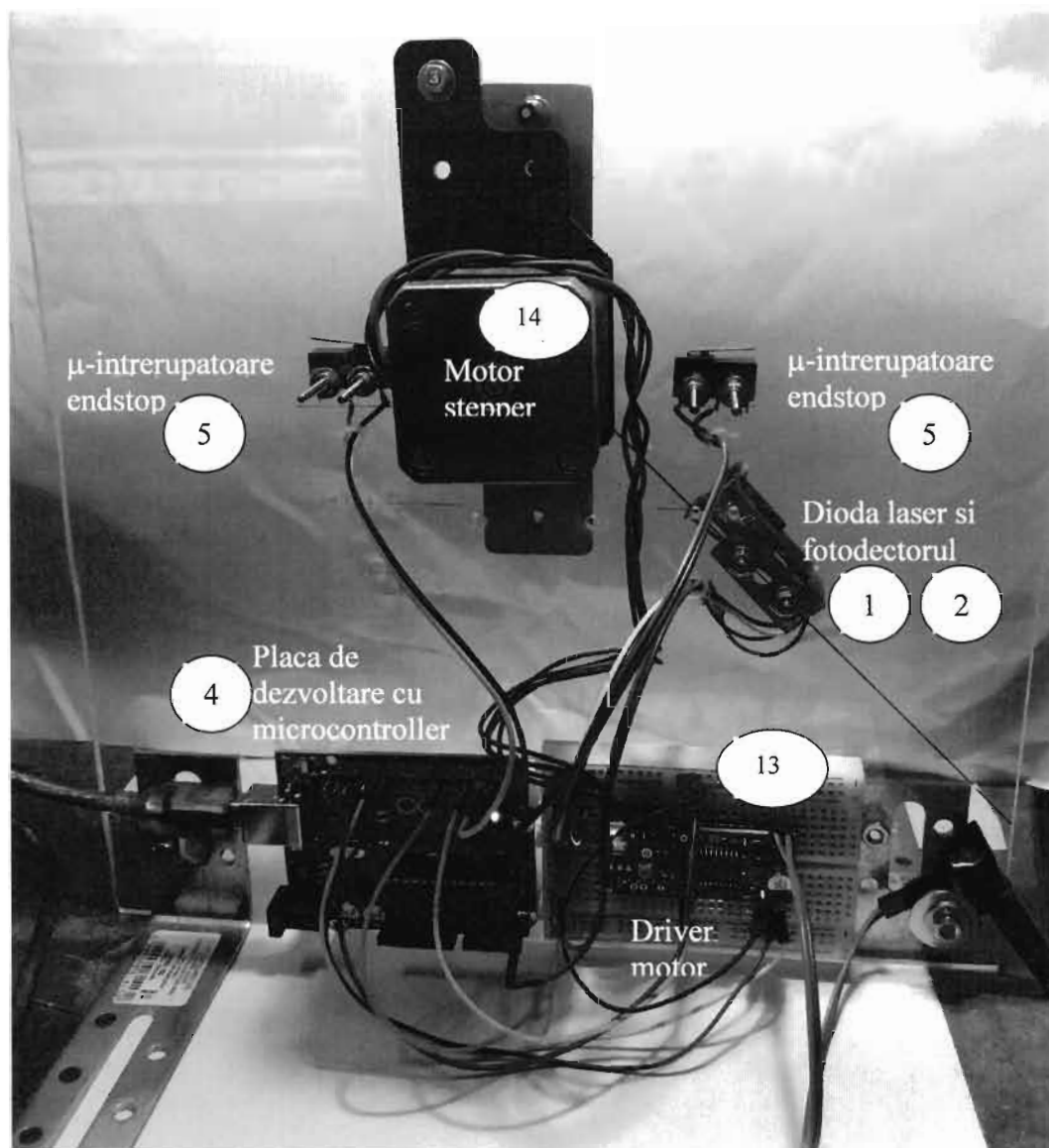
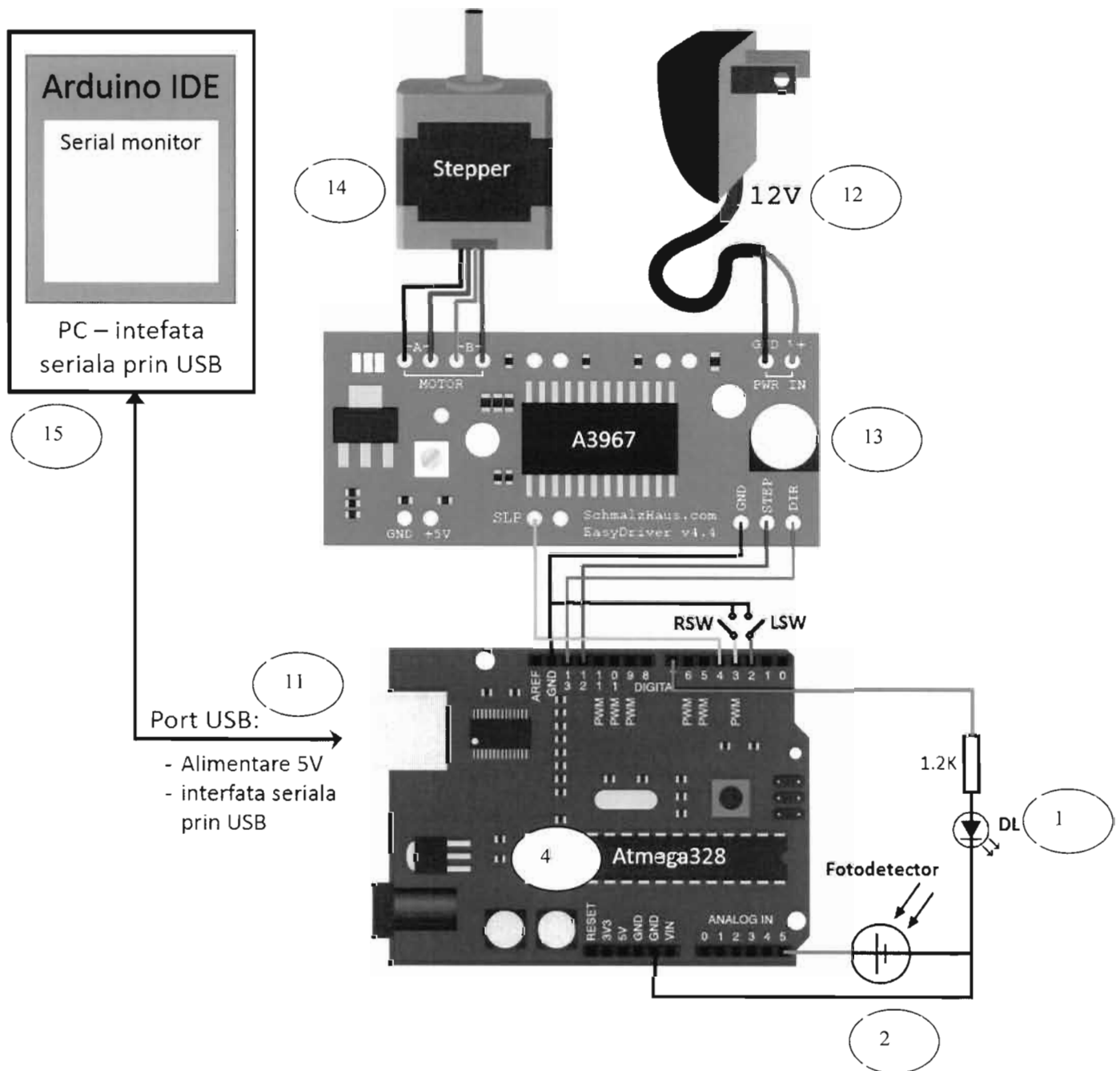


Figura 8. Schema de interconectare a componentelor sistemului (modul de control electromecanic + modul optic + interfata de intrare/iesire)



40

Figura 9. Meniul interfeței utilizator de tip linie de comanda implementata in fereastra „Serial Monitor” (Arduino IDE)

```

COM11 (Arduino/Genuino Uno) 15
d
Send

Begin motor control

Enter number for control option:
Basic functions:
    s Sleep
    w WakeUp
    1 Laser ON
    0 Laser OFF
    v Measure voltage
    + Step forward (counter - clockwise) 1 microstep
    - Step backward (clockwise) 1 microstep
    f Step forward (counter - clockwise) 1 degree
    b Step backward (clockwise) 1 degree
    L Step forward (counter clockwise) until LSW is reached
    R Step backward (clockwise) until RSW is reached
Extended functions:
    N Neutral position
    c Perform a full cycle: -15 ... +45 deg
Waked up
Moving up to the LSW
Left SW is pressed
LSW reached: microsteps =386

Moving up to the RSW
Right SW is pressed
RSW reached: microsteps =-1600

Neutral position reached ! Current step =0

Laser is ON

Step ==-133 Angle[deg] ==-14.96 Voltage[mV] = 149.94
Step ==-125 Angle[deg] ==-14.06 Voltage[mV] = 152.88
Step ==-117 Angle[deg] ==-13.16 Voltage[mV] = 154.84
Step ==-109 Angle[deg] ==-12.26 Voltage[mV] = 154.84
  
```

Autoscroll No line ending 9600 baud Clear output

