



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
Facultatea de Fizică
Școala Doctorală de Fizică



Luminița ANGHELESCU (DAN)

CONTRIBUȚII LA STUDIUL METODELOR DE PREDARE A
SURSELOR DE ENERGIE NECONVENȚIONALE
STUDIUL DE CAZ – EFECTUL FOTOVOLTAIC

Rezumatul Tezei de doctorat

Conducător științific
Prof. univ. dr. Ștefan ANTOHE

București, 2022

Cuprins

Introducere	1
1. Studiul conversiei energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic	5
1.1 Stadiul actual al surselor de energie electrică.	5
1.2 Studiu de impact privind studiul conversiei directe a energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic în școală	16
1.3 Energia solară fotovoltaică, provocări și probleme în educație	24
1.4 Metode didactice pentru studiul conversiei energiei solare fotovoltaice	28
Bibliografie	32
2. Interacția radiației electromagnetice cu semiconductorul	34
2.1 Considerații generale	34
2.2 Absorbția luminii în straturile semiconductoare	36
2.2.1 Absorbția intrinsecă	36
2.2.1.1 Absorbția intrinsecă la tranziții directe	36
2.2.1.2 Absorbția intrinsecă la tranziții indirecte.	37
2.2.2 Absorbția extrinsecă	38
2.2.3 Absorbția pe purtătorii de sarcină liberă	39
2.2.4 Absorbția excitonică	40
Bibliografie	40
3. Mecanisme de transport al purtătorilor de sarcină în semiconductori anorganici și organici	42
3.1. Considerații generale	42
3.2. Generarea purtătorilor de sarcină de întuneric	43
3.2.1. Generarea intrinsecă	43
3.2.2. Generarea extrinsecă	43
3.2.3. Injecția purtătorilor de sarcină din electrozi.	44
3.3. Mecanisme de transport al purtătorilor de sarcină în solidele organice	44
3.3.1. Mecanismul de tunelare	44
3.3.2. Mecanismul de hopping	45
3.3.3. Modelul de bandă	46

	Bibliografie	47
4.	Efectul fotovoltaic în structuri bazate pe semiconductori organici	48
4.1	Considerații generale	48
4.2	Tipuri de structuri folosite în realizarea celulelor fotovoltaice organice	49
4.2.1	Structuri fotovoltaice bazate pe filme subțiri organice din monomeri.	49
4.2.2	Heterojoncțiunea în volum	50
4.3	Mecanismul efectului fotovoltaic în celule organice	53
4.4	Modele teoretice pentru interpretarea caracteristicilor spectrale ale celulelor solare organice	55
4.5	Eficiența de conversie a unei celule solare	58
4.6	Stabilitatea celulelor solare organice	61
	Bibliografie	62
5.	Rezultate experimentale și discuții	66
5.1	Cercetarea efectelor tratamentelor termice asupra proprietăților filmelor subțiri de ITO	67
5.1.1	Obținerea straturilor subțiri de ITO	68
5.1.2	Proprietăți structurale și morfologice	69
5.1.3	Proprietăți optice și electrice	73
5.2	Cercetarea celulelor fotovoltaice organice pe bază de polimeri conductivi și clorofila-a	76
5.2.1	Prepararea celulei fotovoltaice organice	77
5.2.2	Proprietăți electrice și fotoelectrice	78
5.3	Studiul conversiei energiei solare fotovoltaice în școală cu ArduinoYun	83
5.3.1	Proiectarea și funcționarea sistemului fotovoltaic cu trackere.	84
5.3.2	Influența trackerului solar asupra randamentului sistemului fotovoltaic	91
5.3.3	Rezultate experimentale și discuții	92
5.4	Studiul celulei fotovoltaice cu joncțiune p-n utilizând ArduinoYun	98
5.4.1	Caracterizarea celulei fotovoltaice în regim de fotoelement	98
5.4.2	Trasarea caracteristicii curent-tensiune cu ArduinoYun	102
5.4.3	Construcția și funcționarea dispozitivului	103
5.4.4	Pagina html	108
5.4.5	Rezultate și măsurători	109
	Bibliografie	113
6.	Concluzii	118
7.	Lista contribuțiilor proprii	122
8.	Anexă	125

Introducere

În ultimele decenii generarea electricității din surse regenerabile a cunoscut un trend ascendent, trend determinat de cercetarea și dezvoltarea accelerată a noilor tehnologii. Se pune accent tot mai mare pe energia electrică produsă prin conversia directă a luminii solare prin efect fotovoltaic, denumită în continuare „energie solară fotovoltaică”, deoarece Soarele reprezintă sursa regenerabilă cu cel mai mare potențial și capabilă să asigure energia de care populația are nevoie. Însă, captarea energiei solare și transformarea ei în energie electrică este încă o provocare pentru implementarea la scară mondială a acestei tehnologii. Costul ridicat și problema stocării energiei solare fotovoltaice, datorită caracterului intermitent, sunt doar câteva dintre provocările care preocupă omenirea. Cert este că tranziția spre surse regenerabile este un proces iminent pentru evitarea unei crize energetice și climatice. În acord cu aceste preocupări, Comisia Europeană recomandă statelor membre *„să ofere o gamă largă de oportunități de învățare în diferite contexte, de la educația timpurie până la învățarea în rândul adulților, astfel încât orice persoană să se poată pregăti pentru tranziția „verde”, să poată contribui în mod activ la ea și să acționeze pentru o economie durabilă din punctul de vedere al mediului și pentru o societate justă”* (COM(2022)11final). De asemenea recomandă *„să fie sprijiniți cursanții prin facilitarea utilizării de metode și strategii de învățare colaborative, experimentale și relevante prin oferirea de activități de înțelegere, de implicare și de valorizare a lumii naturale și biodiversității acesteia”*.

În acest context și în pas cu o educație tot mai digitalizată, deschisă și interactivă, obiectivul general al acestei lucrări este utilizarea metodelor de învățare cu potențial de stimulare a interesului elevilor în descoperirea fascinantei lumi a conversiei energiei solare fotovoltaice. Metodele de învățare țin cont pe de o parte de schimbările necesare pentru o tranziție energetică justă, instituțiile de învățământ fiind cele mai în măsură să transforme tinerii în agenți ai schimbării vieții lor, a părinților lor și a întregii comunități. Pe de altă parte, schimbările din sistemul educațional, precum o abordare interdisciplinară și aplicată din prisma celor patru discipline știința, tehnologia, ingineria

și matematica (STEM) au condus la apariția metodelor de învățare din perspectiva formării competențelor de bază în știință și tehnologie și sporirea atractivității unei cariere în domeniile STEM. Să le furnizezi tinerilor instrumentele, chiar și digitale, care să le crească profesionalismul, să-i ajute să învețe o meserie în domeniul energetic, înseamnă să le oferi oportunitatea de a deveni agenți ai schimbării pentru un viitor durabil. De asemenea, ambițiosul obiectiv al Europei de a deveni până în 2050 primul continent neutru din punct de vedere climatic, obligă domeniul educației și al formării să ia măsuri pentru o învățare pentru durabilitate.

Obiectivele specifice ale lucrării sunt:

- Cercetarea oportunității introducerii în curriculumul școlar a unor teme de interes actual, precum energia solară fotovoltaică;
- Proiectarea și realizarea unor lucrări de laborator accesate de la distanță folosind noile tehnologii;
- Dezvoltarea de metode de învățare care îmbunătățesc implicarea elevilor în cadrul lucrărilor de laborator.
- Realizarea, testarea și studierea proprietăților unor structuri de interes pentru aplicații fotovoltaice.
- Realizarea unei pregătiri de specialitate în domeniul energiei solare fotovoltaice.

Lucrarea cuprinde un studiu teoretic cu privire la efectul fotovoltaic în semiconductori organici și contribuțiile personale la dezvoltarea metodelor de studiu a conversiei energiei solare fotovoltaice, fiind structurată în cinci capitole după cum urmează:

În **Capitolul 1**, intitulat „Studiul conversiei energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic”, este prezentat stadiul actual al surselor de energie, atenția fiind acordată energiei solare în general și a studiului conversiei directe a energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic, atât la nivel mondial, cât și național. Consider că este extrem de important ca tinerii în plin proces de formare, să înțeleagă necesitatea tranziției de la utilizarea pe scară largă a energiei rezultată din resursele convenționale pe bază de combustibili fosili (resurse limitate) la folosirea resurselor regenerabile (apă, vânt, soare, etc.) și în același timp nepoluante. Motivată de această necesitate, în perioada martie-iunie 2017 am realizat o cercetare pedagogică privind studiul conversiei

energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic (practic cunoașterea principiului de funcționare a celulelor solare disponibile astăzi comercial, pentru o gamă foarte largă de receptori cu puteri de ordinul a câțiva mW până la MW) în liceu, cercetare bazată pe răspunsurile a 250 de elevi. Prin această cercetare a fost investigat gradul de interes al elevilor pentru dezvoltarea de competențe și abilități în domeniul energiei solare.

Stadiul actual al surselor de energie electrică

La nivel global, omenirea este amenințată de o criză energetică și climatică fără precedent în istoria umanității, din cauza consumului de combustibili fosili, în creștere de la an la an. Combustibilii fosili: petrolul, cărbunii și gazele naturale, numiți și surse de energie convenționale au reprezentat forța care a creat de-a lungul ultimelor două secole un complex energetic ce ne asigură astăzi standardele moderne de bunăstare.

Tranziția rapidă spre surse de energie neconvenționale: energie solară, energie eoliană, energie geotermală, hidroenergie și biomasă, este singura cale spre reducerea emisiilor de dioxid de carbon și asigurarea securității energetice.

Rezultatele din ultimii ani indică în mod evident că energia neconvențională este alternativa durabilă la energia convențională. **Energia solară fotovoltaică** este deja o alternativă în zonele izolate, neracordate la rețea. Printre primele utilizări ale energiei solare în producerea de energie electrică a fost la sfârșitul anilor '50, în alimentarea cu energie a sateliților de comunicații, prin intermediul celulelor fotovoltaice [3]. Fiind un succes în industria aerospațială, în următorii ani tehnologia fotovoltaică a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă, fiind considerată în viziunea multor specialiști **sursa de energie a viitorului**.

Capacitățile nou instalate de producere a energiei electrice fotovoltaice au cunoscut o creștere constantă în ultimii ani, ajungând în 2021 la o creștere de aproximativ 175 GW, cu 36 GW mai mult față de anul 2020. Aceasta a fost cea mai mare creștere anuală a capacității nou instalată înregistrată vreodată și a adus la nivel global o capacitate de energie solară fotovoltaică de 942 GW, Figura 1.4.

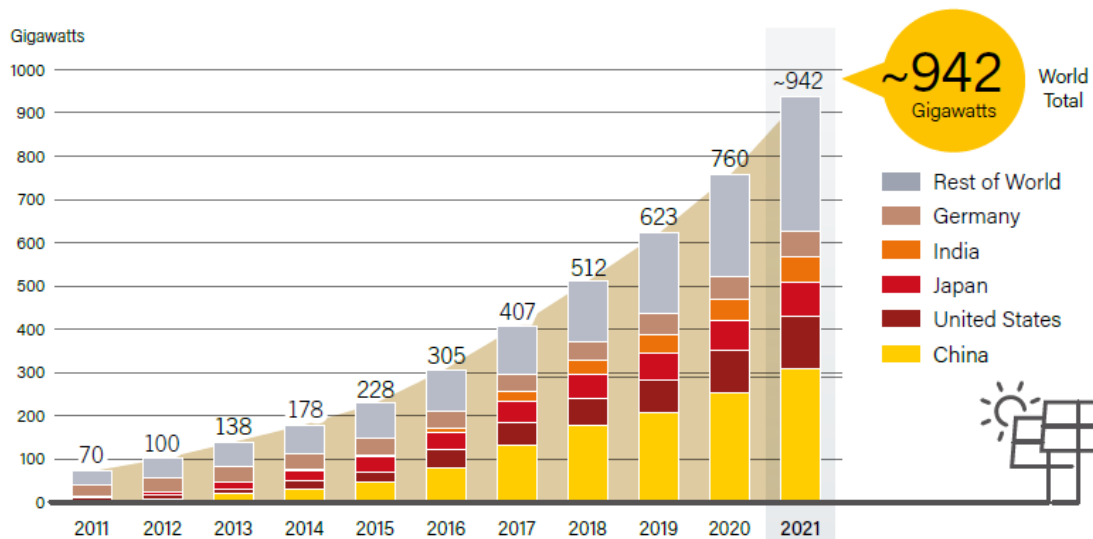


Figura 1.4: Capacitatea globală de energie solară fotovoltaică pe țară și regiune, cu creșterile anuale, 2011-2021 [2]

Nevoia de a crește securitatea energetică și de a atenua schimbările climatice a făcut ca de asemenea **energia eoliană** să fie motorul principal pentru noile instalații de producere a energiei electrice. Capacitatea de energie eoliană în exploatare din întreaga lume a contribuit cu aproximativ 7% din producția totală de electricitate în 2021.

Piața globală de hidroenergie a progresat în conformitate cu tendințele pe termen lung. Cu noi capacități de cel puțin 26 de GW instalați în 2021, capacitatea totală instalată la nivel mondial s-a ridicat la aproximativ 1197 GW.

Și Pământul reprezintă o sursă de energie, deoarece 99% din interiorul său are o temperatură de peste 1000°C, iar din restul de 1%, 99% are o temperatură de peste 100°C. **Energia generată de Pământ** a fost folosită din cele mai vechi timpuri ca agent termic pentru încălzirea locuințelor. Cererea de electricitate a făcut ca începând cu secolul XX, energiei geotermale să i se acorde o atenție sporită [3]. Astfel, în ultimii ani, energia geotermală a fost exploatată la scară tot mai largă, Statele Unite ale Americii, Indonezia și Filipine fiind țările cu cea mai mare producție.

Bioenergia implică utilizarea multor materiale biologice în scopuri energetice, inclusiv reziduuri din agricultură și silvicultură, deșeuri organice solide și lichide și plante special cultivate pentru energie.

Studiu de impact privind studiul conversiei directe a energiei solare în energie electrică prin efect fotovoltaic în școală

Educația și formarea profesională trebuie adaptată permanent cerințelor de pe piața muncii și nevoilor beneficiarilor direcți. Aceasta poate fi realizată prin identificarea nevoilor de formare și de instruire practică a tinerilor cu implicarea directă a formatorilor [7]. Pornind de la această realitate și de la faptul că o cercetare pedagogică constituie un factor de reglare, autoreglare al procesului de educație, am realizat o cercetare pedagogică privind studiul energiei solare fotovoltaice în liceu [8].

Obiectivele cercetării:

1. Aprecierea nivelului de competențe legate de sursele de energie în general și energia solară fotovoltaică în special;
2. Stabilirea gradului de interes în dezvoltarea de competențe și abilități legate de energia solară fotovoltaică, în liceu;
3. Formularea de propuneri destinate să optimizeze dezvoltarea de competențe și abilități în domeniul energiei solare fotovoltaice.

Prelucrarea datelor și prezentarea rezultatelor

O privire generală asupra rezultatelor arată că majoritatea elevilor știu care sunt sursele de energie și au cunoștințe despre epuizarea lor, respectiv poluare. Dar există un număr mare de elevi, care nu au informații despre efectele negative produse de sursele de energie convenționale asupra mediului, considerând că doar petrolul și cărbunii sunt surse care poluează.

Un procent mare de respondenți (73%) cunosc diferența dintre un panou solar termic și un panou solar fotovoltaic.

De remarcat este faptul că respondenții au cunoștințe practice despre un panou solar fotovoltaic, dar nu cunosc aspecte teoretice despre producerea energiei electrice. Așadar, întrebați care este fenomenul care stă la baza conversiei energiei solare în energie electrică, un procent foarte mare de elevi, 48%, confundă efectul fotovoltaic cu efectul termic sau efectul fotoelectric.

Din datele analizate rezultă că un număr foarte mare de respondenți nu cunosc caracteristicile celulei fotovoltaice, elementul de bază din care este alcătuit un panou solar fotovoltaic.

Pentru formarea și dezvoltarea competențelor în domeniul energiilor este foarte importantă introducerea în programa școlară, fie în trunchiul comun sau diferențiat, fie la decizia unităților de învățământ, a conceptelor respective.

Elevii s-au arătat interesați de studiul conversiei energiei solare fotovoltaice în școală prin intermediul experimentelor din cadrul laboratoarelor de fizică, iar 84% dintre respondenți consideră utilă dotarea laboratoarelor cu echipamente corespunzătoare realizării acestor experimente.

Ținând cont că dispozitivele de comunicare prin internet fac parte din viața lor, tinerii sunt foarte interesați să folosească un astfel de dispozitiv pentru a studia. Laboratoarele la distanță sunt prezente în activitatea studenților pentru că le permit acestora efectuarea de experimente de oriunde și la orice oră. Și elevii într-un procent foarte mare (78%), s-au arătat interesați de laboratoare pentru realizarea de experimente la distanță, Figura 1.19.

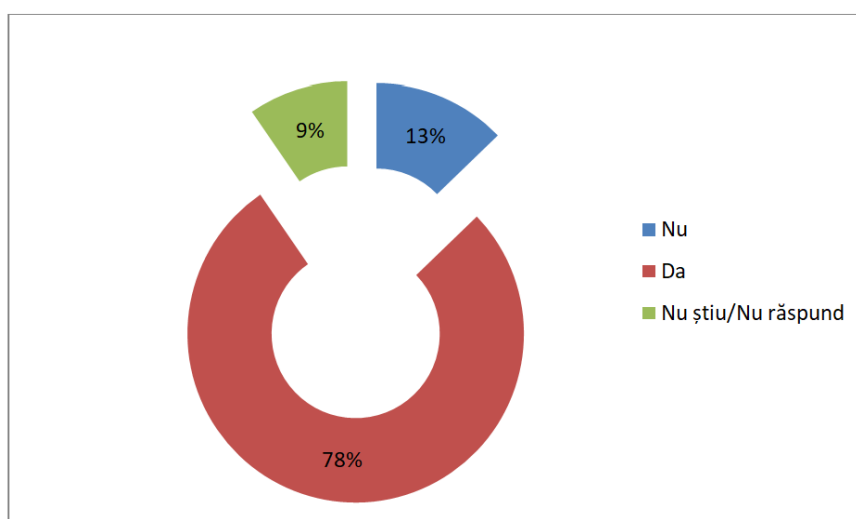


Figura 1.19: Accesarea unui laborator pentru realizarea de experimente de la distanță

Studiul a confirmat că majoritatea elevilor sunt dispuși să cunoască tainele surselor de energie încă din liceu. Pentru aceasta au nevoie atât de laboratoare dotate cu echipamente pentru realizarea experimentelor tradiționale, dar și laboratoare pentru experimente virtuale, experimente accesate prin internet la școală sau de acasă. Așadar, proiectanții curriculumului pot ține cont de aceste informații pentru a fi cuprinse în programele școlare, lecții despre sistemele energetice neconvenționale.

Metode didactice pentru studiul conversiei energiei solare fotovoltaice

Dezvoltând calități de creativitate și cercetare, echipamentele experimentale cu acces de la distanță, care inițial au fost dezvoltate pentru cercetători, au fost extinse în mediul universitar, iar acum și în mediul preuniversitar. Laboratoarele la distanță pot sprijini aprofundarea înțelegerii, oferind oportunități de observare directă și investigare practică. Aceste laboratoare au în alcătuirea lor pe lângă aparatura pentru realizarea experimentului, echipamente robotizate pentru partea de mecanică, care tradițional era realizată de om, camere pentru furnizarea imaginilor etapelor experimentale și transmiterea acestora. Toate acestea nu ar fi fost posibile fără noile tehnologii. De foarte multe ori realizarea unui experiment implică măsurarea, înregistrarea, analiza și transmiterea de foarte mulți parametri, într-un timp foarte scurt [18]. Dacă până nu demult, acest lucru era realizat de stații puternice de lucru, acum sistemele pe bază de plăci de dezvoltare au deschis oportunitățile laboratoarelor la distanță.

Arduino reprezintă o bază pentru dezvoltarea de multiple proiecte în științe, tehnologii și inginerie și un suport accesibil și flexibil pentru cercetători, profesori, studenți și elevi. Aceste soluții tehnologice îmbunătățesc procesul de predare-învățare prin experimente, prin dezvoltarea creativității, prin îmbunătățirea abilităților și capacităților elevului în general. Arduino este una dintre cele mai atractive plăci de dezvoltare cu microcontroller, capabilă să interacționeze cu mediul prin intermediul senzorilor și actuatorilor. Studiul folosind resurse computerizate este avantajos, deoarece permite studenților accesul de la distanță la informații de înaltă performanță și acces la activități de cercetare.

Pentru aceasta am propus metode didactice care evidențiază atractivitatea tehnologiei fotovoltaice, sporind motivația elevilor în analiza și interpretarea datelor. În această lucrare sunt prezentate unele rezultate în aplicații și prototipuri dezvoltate prin utilizarea plăcii ArduinoYun. Instrumentele didactice ajută elevii să se familiarizeze cu conversia energiei solare fotovoltaice pornind de la alcătuirea și funcționarea unui sistem fotovoltaic, studiul eficienței conversiei energiei solare în energie electrică folosind trackerul solar, până la studiul proprietăților electrice ale cunoscutelor celule solare din siliciu, care intră în alcătuirea unui panou fotovoltaic și influența diverșilor parametri, asupra performanțelor. Am avut în vedere și studierea unor structuri

fotovoltaice pe bază straturi subțiri organice și anorganice, caracterizarea acestora din punct de vedere structural, electric și fotoelectric, pentru a fi utilizate în aplicații fotovoltaice.

În **Capitolul 2** al lucrării, intitulat „Interacția radiației electromagnetice cu semiconductorul” este tratat fenomenul de absorbție al luminii într-un semiconductor, fiind procesul de bază care conduce la fotogenerarea purtătorilor de sarcină de neechilibru responsabili de prezența unui răspuns fotovoltaic. Sunt prezentate detaliat mecanismele de absorbție și tehnicile de măsurare a spectrelor de absorbție și modul de obținere a informațiilor referitoare la structura energetică a materialului investigat.

În **Capitolul 3** intitulat „Mecanisme de transport al purtătorilor de sarcină în semiconductori anorganici și organici” este prezentat studiul generării purtătorilor de sarcină și mecanismele de transport a purtătorilor de sarcină produși în procesele de generare, mecanisme care stau la baza studiului conductivității de întuneric și a fotoconductivității semiconductorilor organici.

Capitolul 4 intitulat „Efectul fotovoltaic în structuri bazate pe semiconductori organici” descrie mecanismul efectului fotovoltaic în structuri bazate pe straturi subțiri organice și câteva detalii referitoare la tehnologia de obținere a celulelor organice. Au fost studiate tipuri de structuri folosite pentru creșterea eficienței celulelor și factorii ce influențează eficiența de conversie și stabilitatea celulelor organice. Tot în acest capitol sunt prezentate și câteva modele pentru interpretarea caracteristicilor spectrale, caracteristici necesare pentru testarea performanțelor fotovoltaice ale celulelor.

Capitolul 5 intitulat „Rezultate experimentale și discuții” cuprinde contribuțiile personale și rezultatele experimentale la tema aleasă, rezultate prezentate în cadrul conferințelor sau publicate în literatura de specialitate. Rezultatele sunt obținute în urma cercetării diferitelor structuri realizate în Laboratoarele Centrului de Cercetare Dezvoltare pentru Materiale și Dispozitive Electronice și Optoelectronice (MDEO) din cadrul Facultății de Fizică a Universității din București. De exemplu, au fost investigate efectele tratamentelor termice in-situ și ex-situ asupra proprietăților fizice ale filmelor subțiri de oxid de indiu și staniu sau caracterizate structuri de tip bulkheterojunction bazate pe polimeri conductivi.

Fiind dispozitivul care convertește energia solară în energie electrică, celula fotovoltaică a reprezentat obiectul de studiu al acestui capitol. Studiul performanțelor celulei în funcție de diferiți factori externi s-a realizat într-o manieră modernă și

atractivă, utilizând placa de dezvoltare ArduinoYun. Astfel, au fost trasate caracteristicile curent-tensiune și au fost determinați parametrii caracteristici ai unei celule pe bază de siliciu, rezultatele fiind prezentate în acest capitol. Studiul a fost extins la modulul fotovoltaic, astfel cu ajutorul lui ArduinoYun a fost realizat un studiu comparativ al influenței temperaturii modulului și al unghiului de incidență al radiației solare asupra energiei produse, în cazul unui modul fix și a două module montate pe câte un tracker solar cu o axă, respectiv două axe de rotație. Facilitatea oferită de această placă de dezvoltare, accesul de la distanță prin intermediul unui dispozitiv smart, se pliază pe modul de gândire și existență a tinerei generații.

Creșterea eficienței celulelor fotovoltaice și atingerea nivelului de eficiență necesar pentru ca energia fotovoltaică să devină alternativa durabilă a fost și rămâne o provocare. Găsirea materialelor cu proprietățile corespunzătoare numărului mare de cerințe ce trebuie îndeplinite, ca și a tehnologiei adecvate optimizării conversiei energiei fotovoltaice este principala preocupare. Personal am întreprins acțiuni în cadrul laboratoarelor de cercetare ale Centrului de Cercetare Dezvoltare pentru Materiale și Dispozitive Electronice și Optoelectronice (MDEO) din cadrul Facultății de Fizică a Universității din București mergând pe două direcții: educativă, respectiv de cercetare.

Prima direcție a fost reprezentată de găsirea unor modalități de a introduce în educația formală a tinerilor conceptele și principiile energiilor neconvenționale, acțiune în cadrul căreia am considerat că energia fotovoltaică trebuie să ocupe un loc prioritar. În acest sens am realizat un studiu de impact privind receptivitatea tinerilor din liceu la studiul conversiei energiei fotovoltaice. Rezultatul acestei cercetări a condus la identificarea unor metode active și moderne de atragere a tinerilor în scopul popularizării și familiarizării cu dispozitivele folosite în tehnologia fotovoltaică. Astfel am realizat două lucrări. Prima constă în realizarea unui sistem fotovoltaic ce are drept scop prezentarea din punct de vedere didactic a întregului lanț de fenomene, respectiv dispozitive ce sunt necesare de la captarea energiei fotovoltaice și până la livrarea acesteia sub formă de energie electrică. A doua lucrare constă în proiectarea, realizarea și prezentarea unui dispozitiv electronic ce trasează automat caracteristica curent-tensiune a celulelor fotovoltaice.

A doua direcție a fost de întreprindere a unor acțiuni de cercetare în sensul documentării și descoperirii de noi materiale și metode de obținere a materialelor cu perspectivă reală în tehnologia fotovoltaică. În acest sens au fost investigate efectele

tratamentelor termice asupra proprietăților straturilor subțiri de oxid de indiu dopat cu staniu și proprietățile celulelor organice pe bază de polimeri conductivi funcționalizate cu clorofila-a.

Cercetarea efectelor tratamentelor termice asupra proprietăților filmelor subțiri de ITO

Proprietățile structurale, morfologice și electrice ale straturilor de ITO fiind influențate de metoda de creștere și tratamentele post-depunere, un prim pas în vederea obținerii stratului cu proprietăți fizice adecvate este stabilirea metodei și a condițiilor de depunere.

Metoda folosită pentru obținerea straturilor subțiri ITO a fost pulverizarea catodică în regim de radiofrecvență pe sticlă optică, în atmosferă de argon, folosind o instalație TECTRA care conține mai multe facilități de depunere a stratului subțire: evaporare termică în vid (TVE); tun electronic furnizând un fascicul de electroni accelerați care bombardează materialul de depus; pulverizare în curent continuu și radiofrecvență, plasate într-o cameră de depunere din oțel inoxidabil. Distanța dintre probă și țintă a fost menținută constantă în timpul depunerii, la 11 cm. Înainte de procesul de depunere, substraturile au fost curățate în acetonă și apă distilată timp de 15 minute. Au fost fabricate 10 eșantioane și supuse la tratamente termice diferite, in-situ sau ex-situ. Prelucrarea in-situ a constat în încălzirea substraturilor în timpul depunerii, la diferite temperaturi, în timp ce recoacerea ex-situ a fost efectuată în aer, folosind un cuptor Nabertherm cu temperatura maximă de 1100°C [33].

Rezultatele oferă dovezi că tratamentele termice influențează puternic proprietățile electrice și structurale ale straturilor subțiri de ITO.

Cercetarea celulelor fotovoltaice organice pe bază de polimeri conductivi și clorofila-a

Privită ca o rețea de interpenetrare 3D a două componente donor și acceptor, ce facilitează difuzia excitonilor și separarea purtătorilor de sarcină înainte de recombinarea lor, heterojoncțiunea în volum a fost intens studiată. Un compus

performant folosit ca donator de electroni s-a descoperit a fi P3HT (poli(3-hexiltiofena)), fiind unul dintre cei mai stabili polimeri organici. Iar diferența energetică de 2,10 eV [41,42] dintre HOMO și LUMO, îl face un bun absorbant în domeniul vizibil. Ca acceptori de electroni sunt adesea folosiți derivați ai fullerenei, de exemplu, PCBM (1-(3-metoxicarbonil)-propil-1-fenil-(6,6)C₆₁), un compus cu afinitate mare de electroni, având diferența dintre HOMO și LUMO de 2,4 eV [43]. Putem considera fără să greșim că o structură fotovoltaică având ca strat activ amestecul dintre P3HT ca donator și PCBM ca acceptor de electroni în raport 1:1 poate fi considerată structură convențională.

În această lucrare sunt prezentate rezultatele studiului comportamentului electric și fotoelectric al celulelor cu straturi subțiri bazate pe polimeri conductivi la care a fost funcționalizat cu clorofila-a (chl-a), fie stratul de transport al golurilor, fie stratul activ [48]. Acest studiu a fost motivat de rezultatele unui studiu anterior asupra celulelor fotovoltaice cu straturi subțiri de Chl-a și polimeri [49], rezultate ce au arătat că introducerea clorofilei a condus la o extindere a intervalului de răspuns spectral, lucru important pentru aplicațiile fotovoltaice.

Rezultatele fotoelectrice corelate cu cele electrice au confirmat că un strat de transport al sarcinii pozitive funcționalizat, de tipul PEDOT:PSS+Chl-a (4:1) conduce la îmbunătățirea colectării sarcinilor la anod. Valoarea de (4:1) a raportului dintre PEDOT:PSS și Chl-a este convenabilă, fiind stabilită în urma rezultatelor electrice și fotoelectrice ale diferitelor configurații ale stratului de transport al golurilor. Cu toate că stratul activ a reprezentat amestecul P3HT:PC₆₁BM (1:1), identic cu al structurii convenționale, nu au fost obținute performanțe fotovoltaice superioare.

Deși valorile măsurate ale parametrilor fotovoltaici ai structurilor fabricate sunt modeste, folosind ca strat colector de goluri un amestec PEDOT:PSS+Chl-a (4:1), au fost îmbunătățite proprietățile electrice și fotoelectrice comparativ cu structura convențională.

Studiul conversiei energiei solare fotovoltaice în școală cu Arduino Yun

Un sistem fotovoltaic este un mijloc optim pentru studiul conversiei energiei solare fotovoltaice, implicând elevii în desfășurarea etapelor studiului. Un sistem

fotovoltaic accesibil atât fizic cât și electronic, ce oferă utilizatorului vizualizarea comparativă, în timp real, a parametrilor a trei module fotovoltaice dintre care, unul fix, unul cu o axă de rotație și al treilea cu două axe de rotație, este o atracție în investigarea tehnologiei fotovoltaice. Principalele date ale sistemului fotovoltaic, puterea produsă de fiecare modul, temperatura acestora, temperatura aerului și tensiunea acumulatorului, sunt înregistrate de un sistem de achiziție date în fișiere text ce permit descărcarea și interpretarea lor, făcându-l în final pe utilizator să înțeleagă rolul și influența factorilor externi asupra performanțelor sistemului. Totodată, sistemul fotovoltaic reprezintă un excelent mijloc educativ prin care elevii să cunoască și înțeleagă modul de funcționare și rolul fiecărei componente a acestuia.

Având ca țintă un studiu comparativ al performanțelor modulelor, sistemul fotovoltaic permite monitorizarea puterii maxime produse de cele trei module în funcție de posibilitățile de orientare ale fiecăruia. Astfel, sistemul fotovoltaic conține trei module, un regulator de tensiune, acumulator, consumatori și o instalație de achiziție a datelor.



Figura 5.12: Sistemul fotovoltaic

Pentru realizarea studiului comparativ, am montat cele trei module fotovoltaice, astfel: un prim modul a fost poziționat fix, orientat spre sud cu o înclinare de 45 de grade față de verticală; al doilea modul a fost montat pe un tracker solar cu o axă de rotație, dotat cu actuator ce permite urmărirea traiectoriei soarelui la echinocțiul de primăvară sau toamnă; iar cel de-al treilea modul fotovoltaic a fost montat pe un tracker solar ce are două axe de rotație, fiind dotat cu două actuatore ce permit orientarea astfel încât razele să fie permanent perpendiculare pe modul, Figura 5.12.

Având în vedere că am dorit măsurarea cu acuratețe cât mai mare, din considerente ce țin de vreme (mișcarea norilor), am ales ca citirea senzorilor să se facă la fiecare două secunde. Pentru aceasta avem nevoie ca fiecare modul fotovoltaic să livreze continuu puterea maximă.

Placa ArduinoYun calculează puterea panoului la fiecare două secunde, valorile rezultate sunt memorate la un interval de timp de 10 minute, la sfârșitul căruia, sunt mediate și stocate în fișiere text, pe un card de memorie.

Un instrument didactic modern implică prezentarea datelor și a informațiilor într-un format modern și atractiv pentru utilizator. Astfel, din cele câteva plăci de Arduino, am ales varianta ArduinoYun ce conține și un procesor Atheros AR9331, pe care rulează un sistem de operare (SO) Linux, capabil să ofere atât ethernet cât și WI-FI prin modulul wireless pe care îl conține. Sistemul de operare Linux este capabil să găzduiască un site web de dimensiuni suficiente, ce este stocat pe un card SD și care poate prezenta în mod interactiv datele rulate de microcontrolerul ATmega32u4, ce execută programul scris în C.

Softurile ce rulează pe cele două procesoare permit afișarea în timp real a valorilor puterilor fiecărui panou, temperatura panoului, temperatura mediului și tensiunea acumulatorilor, Figura 5.18.



Figura 5.18: Date instantanee. Parametrii sistemului fotovoltaic [54]

Elementul de bază al unui sistem fotovoltaic este reprezentat de celula fotovoltaică. Pentru maximizarea eficienței unei celule fotovoltaice se acționează în două direcții. Prima direcție este reprezentată de creșterea randamentului de conversie a energiei fotovoltaice în energie electrică prin folosirea de materiale și structuri noi, concomitent cu prețuri de producție cât mai mici. A doua direcție o reprezintă maximizarea cantității de radiație solară adusă la celula fotovoltaică și pentru cât mai mult timp. Aceasta se poate realiza prin construirea unui dispozitiv care să urmărească evoluția soarelui în timpul unei zile, tracker solar. În realizarea trackerului solar, se pornește de la dorința ca radiația solară să cadă perpendicular pe suprafața modulului. Pentru aceasta am realizat un senzor optic ce determină poziția soarelui și care comandă prin intermediul unui dispozitiv electronic unul sau două motoare electrice ce mișcă modulul solar, poziționându-l convenabil.

Datele achiziționate sunt suficiente pentru realizarea de interpretări, analize, grafice, în cadrul lucrărilor de laborator.

Conform reprezentărilor grafice, se observă că într-o zi senină de primăvară, puterile celor două module cu o axă, respectiv două axe de rotație, este maximă între orele 11.00 și 16.00, un interval mult mai larg decât în cazul modulului fix, unde puterea este maximă în jurul orei 13.00, Figura 5.20. Totodată se observă o creștere importantă a energiei produse de modulele cu trackere față de modulul fix. Toate modulele ating același maxim de putere într-o zi senină de vară, plusul de energie al modulelor cu trackere fiind dat de intervalul de timp mult mai mare în care produc maximul de putere, Figura 5.21.

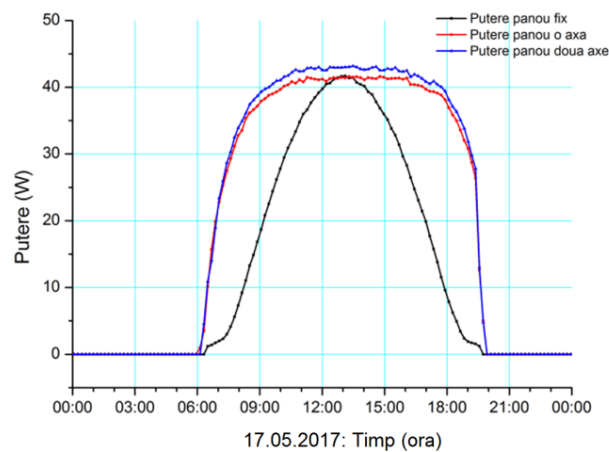


Figura 5.20: Puterile celor trei module solare într-o zi senină de primăvară [54]

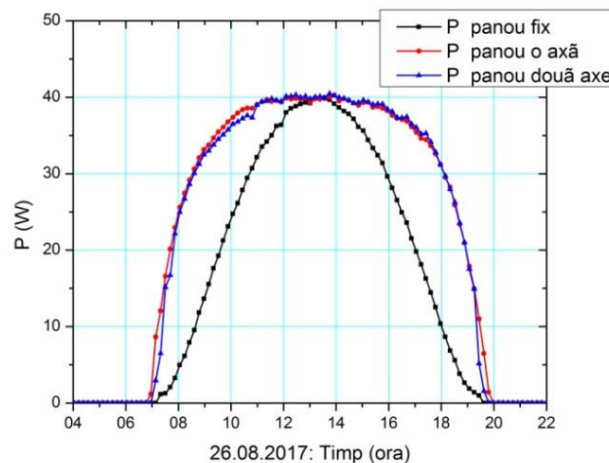


Figura 5.21: Puterile celor trei module solare într-o zi senină vară

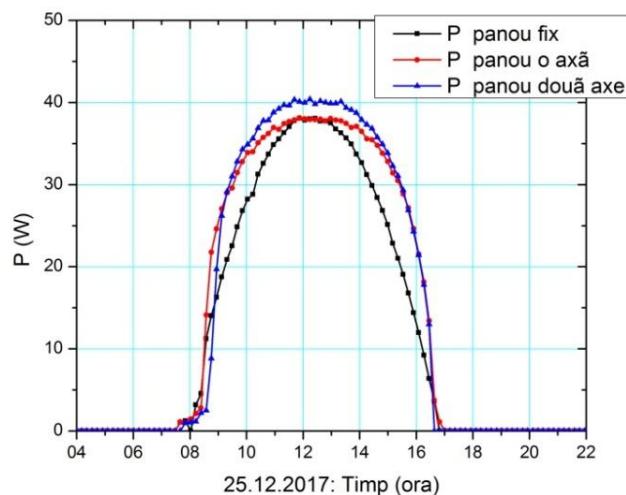


Figura 5.22: Puterile celor trei module solare într-o zi senină de iarnă

Comparând energiile produse în zile senine de modulul cu două axe de rotație și cel cu o axă, se observă că, vara diferența dintre energiile produse este foarte mică, Figura 5.21, în timp ce primăvara, Figura 5.20, sau iarna, Figura 5.22, diferența energiilor produse este mai mare. Acest fapt este susținut și de valorile calculate ale energiilor produse de module și de creșterile procentuale în diferite zile senine ale anului. Creșterea procentuală a energiei modulului cu două axe față de cel cu o axă este cuprinsă între 1% și 4,5%, în funcție de anotimp.

Analiza datelor confirmă așteptatele creșteri de energie produsă de modulele cu trackere față de modulul fix, astfel:

- modulul cu o axă de rotație față de modulul fix are o creștere procentuală a energiei produse cuprinsă între 61% și 14%, în funcție de anotimp și alte condiții meteorologice.
- modulul cu două axe de rotație față de modulul fix are o creștere procentuală a energiei produse de aproximativ 68% vara, scăzând până la aproximativ 16% iarna [57].
- modulul cu două axe de rotație față de modulul cu o axă de rotație prezintă o ușoară creștere procentuală a energiei produse, de maxim 4,55%, în funcție de anotimp.

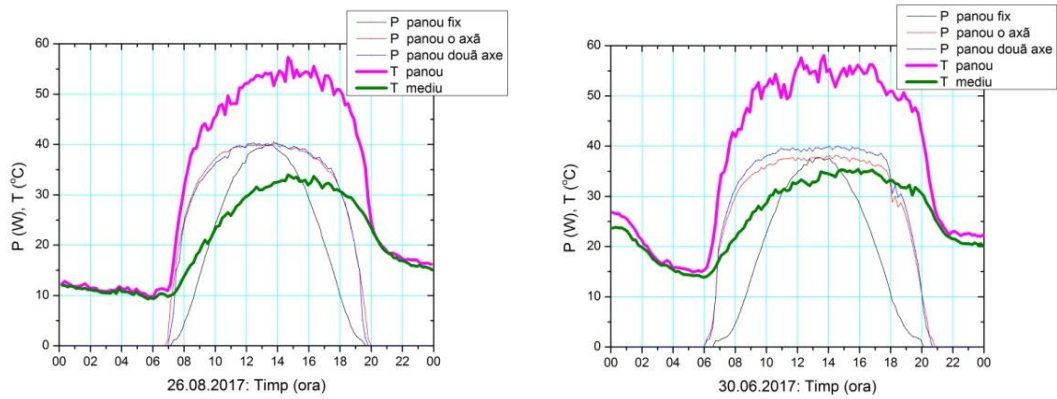


Figura 5.24: Temperatura modulului solar (curba roșie) și temperatura mediului (curba verde)

Randamentul modulului solar este afectat de temperatura acestuia, care la rândul ei depinde de radiația incidentă, de temperatura mediului, dar și de masa de aer. În Figura 5.24 este prezentată evoluția temperaturii modulului solar în condiții reale de funcționare. Temperaturile au fost înregistrate la intervale de 10 minute fără a fi mediate la mai multe măsurători, de aceea graficele prezintă vârfuri. Analizând graficele, se observă că temperatura modulului crește foarte rapid comparativ cu temperatura mediului, ajungând ca diferența dintre temperatura modulului și temperatura mediului să fie chiar și de 30°C , într-o zi de vară însorită.

De asemenea, se observă că la o temperatură a modulului cuprinsă între 20°C și 30°C , lucru întâlnit fie într-o zi cu nori, fie în timpul iernii, Figura 5.25, puterea maximă generată de module crește ajungând până la 50W , adică puterea maximă a modulelor în condiții standard de funcționare.

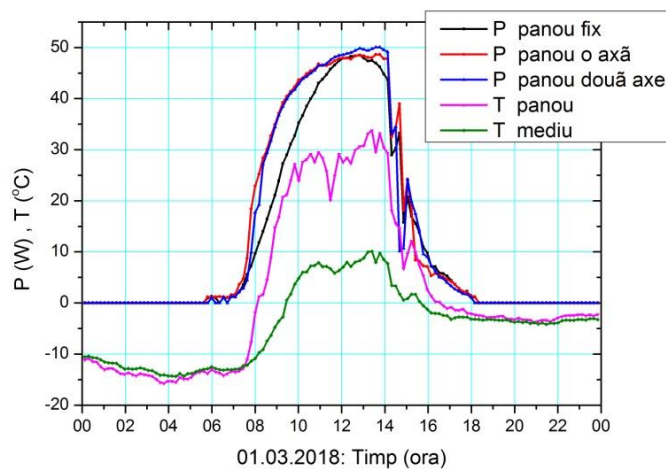


Figura 5.25: Puterea produsă de module într-o zi de primăvară cu nori.

Rezultatele experimentale obținute confirmă așteptările cu privire la creșterea eficienței modulelor cu trackere față de un modul fix, respectiv modul în care temperatura modulului afectează eficiența de conversie. Această realitate practică oferită de sistemul fotovoltaic sprijină elevii să înțeleagă noțiunile teoretice, iar accesul de la distanță la informații și activități de învățare, conduce la o mai bună asimilare și consolidare a cunoștințelor în acest domeniu reușind, de asemenea, să crească interesul acestora față de energia fotovoltaică în particular, respectiv energiile regenerabile în general.

Studiul celulei fotovoltaice cu joncțiune p-n utilizând

ArduinoYun

În prezent celula fotovoltaică pe bază de Si stă la baza majorității sistemelor fotovoltaice destinate producției de energie electrică. Având avantajul de a fi foarte populare celulele din siliciu sunt disponibile comercial și pot fi folosite ca material didactic în laboratoare, astfel ca prin studierea lor elevii să înțeleagă mai bine proprietățile celulelor și efectul fotovoltaic.

Experimentul constituie o metodă activă de învățare mult superioară oricărei alte metode [58]. Dacă procentul de retenție al informației în cazul unei expuneri este de 5-10%, în cazul desfășurării unui experiment retenția informației este de 80-85%.

Dezvoltarea unor dispozitive moderne care să permită elevului realizarea unui experiment într-o formă atractivă și accesibilă, accesat cu orice dispozitiv electronic ce poate accesa o pagină web, reprezintă o provocare pentru profesor. Principalele informații despre o celulă fotovoltaică sunt conținute în caracteristica curent-tensiune a acesteia. Venind în întâmpinarea acestui aspect am conceput și realizat un dispozitiv ce trasează automat în mai puțin de un minut caracteristica I-V pentru o celulă fotovoltaică supusă la diferite iluminări și temperaturi, care poate afișa imediat caracteristica și permite descărcarea datelor, toate acestea dintr-o pagina web accesibilă atât prin conexiune wireless, dar și prin conexiune ethernet (prin cablu), din orice locație ce permite conectarea la internet. Pentru a se studia performanțele unei celule fotovoltaice este necesară trasarea caracteristicii I-V a acesteia. Realizarea unui dispozitiv care trasează automat caracteristica unei celule fotovoltaice și mai ales care permite descărcarea datelor în vederea interpretării lor ulterioare, constituie un real ajutor în

derularea experimentelor care implică realizarea în mod repetat a caracteristicii. Încă de la început trebuie subliniat faptul că realizarea unui dispozitiv care trasează automat caracteristica unei celule fotovoltaice nu are ca scop să substituie lucrarea de laborator în care elevul realizează circuitul clasic, modifică manual rezistența variabilă, notează valorile tensiunilor și ale intensităților curentului și apoi reprezintă caracteristica I-V [59]. Acest dispozitiv își găsește utilitatea în experimentele în care se dorește studiul caracteristicii celulei fotovoltaice când variază ceilalți parametri care influențează caracteristica, cum ar fi: temperatura, intensitatea radiației luminoase sau unghiul de incidență al radiației, experimente în care notarea datelor sau introducerea acestora în calculator ar necesita mult timp și ar încetini activitatea elevului.

Pentru trasarea caracteristicii curent-tensiune și determinarea parametrilor I_{SC} și V_{CD} se folosește circuitul de măsură din Figura 5.29.

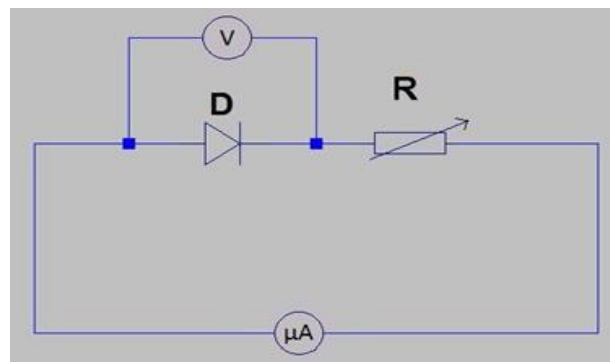


Figura 5.29: Circuitul de măsură pentru trasarea caracteristicilor curent-tensiune a celulelor solare ce funcționează în regim de fotoelement [56]

În funcționarea sa, dispozitivul execută etapele experimentului clasic și modifică automat rezistența de sarcină cu ajutorul unui tranzistor, înlocuiește voltmetrul cu un circuit electronic de măsurare, înlocuiește ampermetrul cu un senzor de curent, stochează și reprezintă grafic datele. Toate acestea sunt posibile prin folosirea unei plăci de dezvoltare Arduino Yun care asigură și comunicarea cu orice dispozitiv ce poate accesa o pagină web.

Pentru realizarea dispozitivului de trasare automată a caracteristicii unei celule fotovoltaice am pornit de la două aspecte. Primul constă în rezolvarea problemei ce ține de execuția logică a unor etape, de realizarea unor comenzi logice în anumite momente

ale măsurătorilor, dar și de citirea și stocarea datelor. Evident acestea pot fi realizate doar cu microcontrolere care permit execuția unui cod realizat într-un limbaj de programare. Al doilea aspect ține de modul în care dispozitivul comunică cu operatorul. Aici am dorit ca accesul să se facă într-un mod cât mai intuitiv, rapid și simplu. Rezolvarea a venit prin folosirea unei pagini web care permite trimiterea de comenzi, dialogul referitor la statusul unor procese, reprezentarea grafică a caracteristicii, dar și descărcarea datelor colectate în timpul procesului de măsurare.

Pentru a varia tensiunea la bornele celulei fotovoltaice am folosit un tranzistor MOSFET comandat în grilă cu tensiunea oferită de un circuit electronic care face ca tensiunea pe celula fotovoltaică să evolueze identic cu tensiunea pe un condensator care se încarcă printr-o rezistență fixă.

Din punct de vedere electronic, procesul de măsurare începe prin închiderea contactelor releului REL.1 și prezența unei tensiuni mari în grila tranzistorului, Figura 5.32, care scurtcircuitază celula fotovoltaică făcându-se o primă măsurătoare rezultând curentul de scurtcircuit (I_{SC}) și tensiunea la scurtcircuit ($U_{sc} = 0V$).

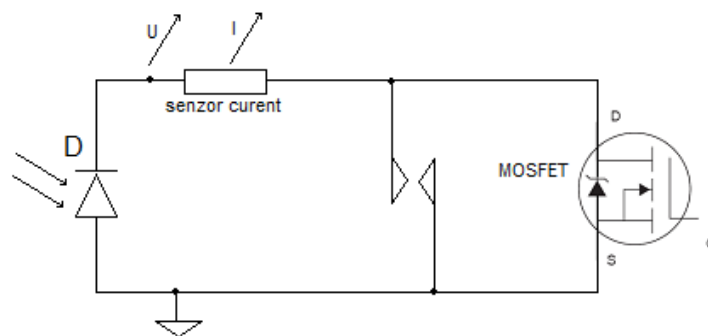


Figura 5.32: Schema echivalentă pentru trasarea caracteristicii curent-tensiune

Procesul continuă cu întreruperea alimentării și variația tensiunii din grila tranzistorului după o curbă prestabilită care generează evoluția tensiunii pe celula fotovoltaică, concomitent cu pornirea citirii și scrierea tensiunilor și intensităților la intervale de 50ms până când $I = 0A$, condiție ce face ca întregul proces de măsurare să înceteze.

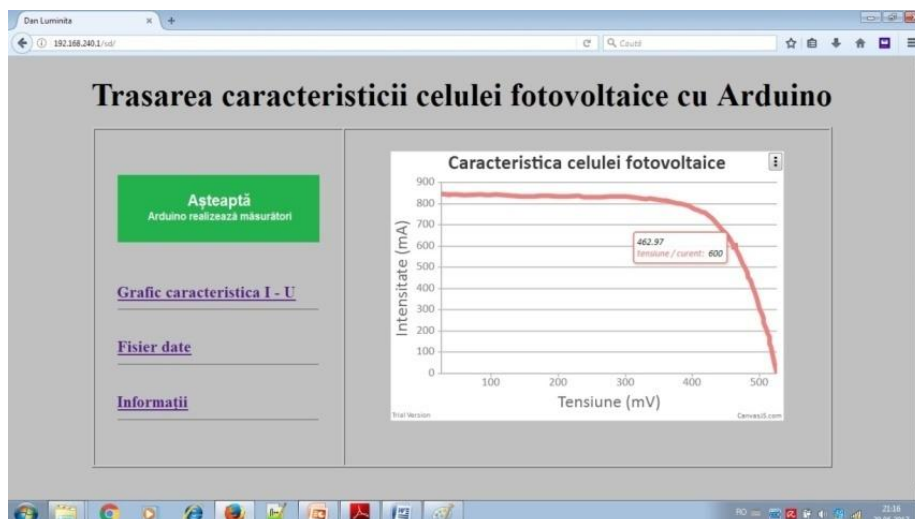


Figura 5.33: Interfața cu utilizatorul

Se închid fișierele de date, se generează fișierul html care conține caracteristica și ArduinoYun comunică în pagina web a utilizatorului, Figura 5.33, încheierea procesului, invitând pe acesta să vizualizeze caracteristica sau să descarce datele colectate în timpul măsurătorii.

Utilizarea acestui dispozitiv este benefică în realizarea studiului factorilor care influențează energia electrică produsă de celula fotovoltaică.

Influența radiației solare asupra caracteristicilor celulei fotovoltaice

Pentru realizarea măsurătorilor am folosit o lampă cu halogen așezată la diferite distanțe de celula fotovoltaică.

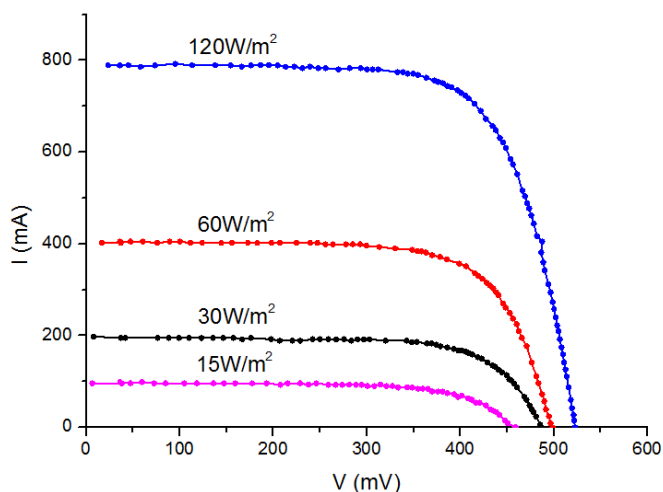


Figura 5.37: Caracteristicile I-V ale celulei la variația intensității radiației solare.

Influența unghiului de incidență al radiației solare asupra caracteristicilor celulelor fotovoltaice

Păstrând constantă distanța dintre celula fotovoltaică și lampa cu halogen am rotit celula astfel încât radiația să cadă sub diferite unghiuri. Am obținut caracteristicile curent-tensiune afișate în Figura 5.38.

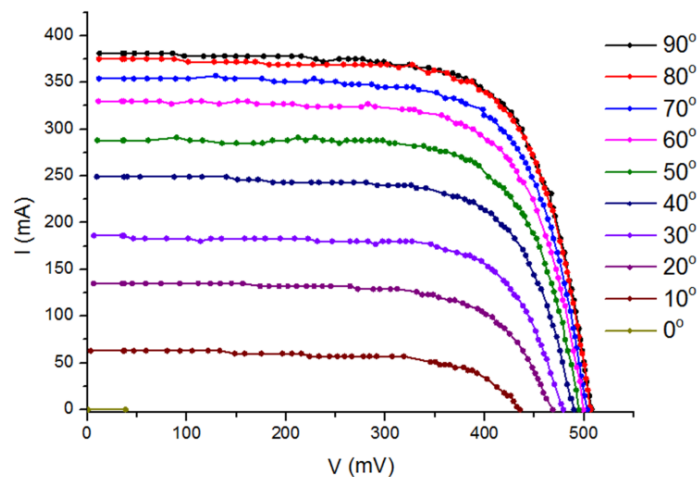


Figura 5.38: Caracteristicile I-V la diferite unghiuri de incidență

Influența temperaturii asupra caracteristicilor celulelor fotovoltaice

Menținând constantă intensitatea radiației luminoase ce cade perpendicular pe suprafața celulei am modificat temperatura celulei și am obținut caracteristicile din Figura 5.40.

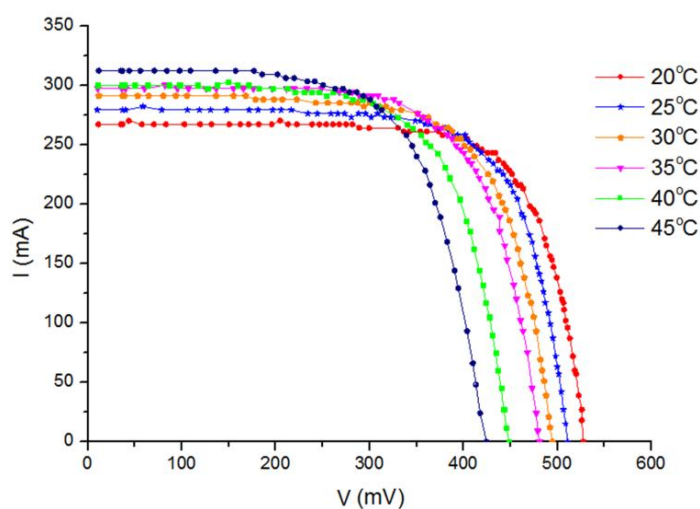


Figura 5.40: Caracteristicile I-V la diferite temperaturi.

Se observă că la creșterea temperaturii, tensiunea la curent deschis V_{CD} scade, iar curentul de scurtcircuit I_{SC} crește.

Determinarea parametrilor V_{CD} , I_{SC} , FF și η_C ai celulei fotovoltaice.

Parametrii celulei au fost determinați pentru o radiație de 75W/m^2 la o temperatură a celulei de 30°C , conform Figurii 5.41 și au fost obținute valorile:

$V_{CD} = 0,510\text{ V}$, $I_{SC} = 0,561\text{ A}$, $FF = 0,7090$, $\eta_C = 11,26\%$, $P_{max} = 0,2028\text{ W}$.

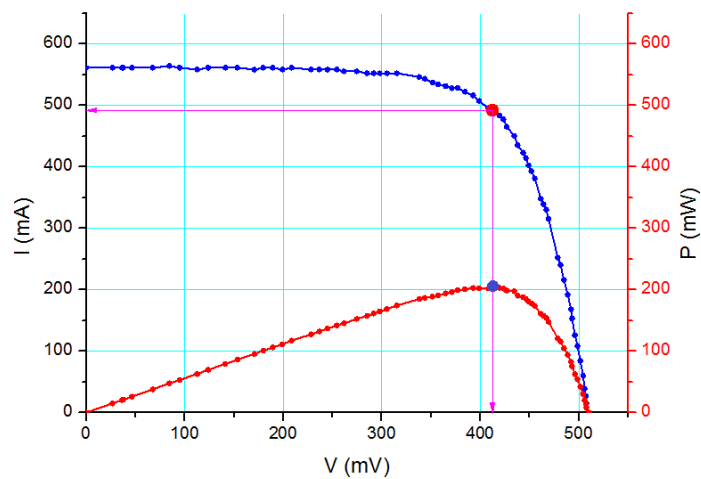


Figura 5.41: Caracteristica I-V și caracteristica P-V a celulei fotovoltaice.

Concluzii

Cercetările, analizele și constatările cu privire la studiul energiei solare fotovoltaice în școală au fost prezentate pe larg în această lucrare și conduc la formularea următoarelor concluzii:

1. Punctul de pornire în proiectarea, realizarea și prezentarea unor metode de predare a conversiei energiei solare fotovoltaice a reprezentat realizarea unui studiu de impact privind oportunitatea studierii temei în liceu. Potrivit studiului, într-un procent foarte mare (78%), elevii de liceu prezintă interes pentru domeniu și găsesc util studiul conversiei energiei solare fotovoltaice, familiarizarea cu dispozitivele fotovoltaice, înțelegerea funcționării și a utilității lor. Școala este principala instituție care le poate oferi informațiile de care au nevoie sunt de părere elevii, dar acest lucru este posibil într-un cadru legislativ și în limita resurselor de care dispune școala. Pentru realizarea acestui obiectiv se impune introducerea temei fie în curriculumul național, fie în curriculumul la decizia școlii și dotarea laboratoarelor din școli cu aparatura și materialul specific. Acest lucru a fost susținut și de 84% dintre elevii intervievați. În paralel, pentru creșterea flexibilității și individualizării învățării, dotarea laboratoarelor cu echipamente care să le permită elevilor realizarea de experimente sau reluarea unor experimente prin accesare de la distanță, este dorită și susținută de 78% dintre elevi.

2. Am demarat un studiu pentru găsirea metodelor didactice care să pună în practică aceste preocupări și am descoperit oportunitățile plăcii de dezvoltare ArduinoYun în realizarea de produse educaționale care să sprijine profesorul în demersul didactic.

3. Pentru studierea performanțelor celulelor fotovoltaice am folosit caracteristica curent-tensiune a acesteia. Caracteristica I-V ne ajută să determinăm principalii parametri ai celulei cum ar fi: curentul de scurtcircuit, tensiunea la circuit deschis, puterea maximă, factorul de umplere și eficiența de conversie. Pentru aceasta, cu ajutorul plăcii de dezvoltare ArduinoYun am realizat un dispozitiv care realizează automat în mai puțin de un minut măsurătorile, salvează datele pe un card de memorie și trasează caracteristica I-V conform datelor măsurate. Datele și graficele sunt disponibile utilizatorului și pot fi descărcate în diferite formate. Un astfel de dispozitiv ajută utilizatorul să se concentreze asupra fenomenului prin eliminarea unor dezavantaje legate de precizia măsurătorilor, erorile de calcul, timpul de lucru cu citirea, notarea și reprezentarea datelor. De asemenea ajută elevul să studieze performanțele celulei în

funcție de diferiți factori externi: temperatură, intensitatea radiației luminoase sau unghiul de incidență al radiației, lucru ce necesită trasarea în mod repetat a caracteristicii. Studiarea performanțelor unei celule fotovoltaice folosind conectarea prin WI-FI sau ethernet cu orice dispozitiv ce accesează o pagină web, constituie o metodă activă și atractivă de lucru pentru elevi.

4. Pentru caracterizarea unei celule fotovoltaice am folosit cea mai simplă celulă cu joncțiune p-n pe bază de siliciu. Reprezentările grafice ale caracteristicilor I-V au confirmat datele teoretice conform cărora creșterea temperaturii celulei determină scăderea tensiunii la circuit deschis și creșterea curentului de scurtcircuit. Mai mult, au confirmat faptul că intensitatea curentului de scurtcircuit variază proporțional cu intensitatea radiației luminoase. Analiza caracteristicii I-V a permis determinarea principalilor parametri ai celulei fotovoltaice. Astfel pentru o radiație de 75W/m^2 , la o temperatură a celulei de 30°C , parametrii celulei studiate au fost: curentul de scurtcircuit, $I_{SC} = 0,561\text{ A}$, tensiunea la circuit deschis, $V_{CD} = 0,510\text{ V}$, iar din reprezentarea grafică a dependenței puterii de tensiune a fost determinat factorul de umplere, $FF = 0,709$ și eficiența de conversie, $\eta_c = 11,26\%$.

5. Pentru un studiu comparativ al performanțelor modulelor fotovoltaice în funcție de unghiul de incidență al radiației solare am realizat un sistem fotovoltaic alcătuit din trei module fotovoltaice, unul fix înclinat la 45° față de verticală, unul montat pe un tracker solar cu o axă de rotație și al treilea montat pe un tracker solar cu două axe de rotație. Sistemul fotovoltaic ajută elevii să cunoască elementele componente, rolul fiecărei componente și modul de funcționare. Parametrii caracteristici, curentul livrat de fiecare modul, tensiunea, temperatura unui panou și a mediului ambiant sunt măsurati de senzori specifici conectați la o placă ArduinoYun, care calculează puterea fiecărui panou, iar datele sunt stocate pe un card de memorie. Datele pot fi accesate și descărcate pentru realizarea analizelor. Acest sistem a permis o bună gestionare a timpului prin achiziția automată de date, lucru dificil de realizat de o persoană fizică.

6. Studiul comparativ al eficienței modulelor fotovoltaice a condus la rezultatele așteptate legate de creșterea eficienței modulelor cu trackere față de cel fix și au arătat o creștere procentuală a energiei produse de un modul cu o axă de rotație față de unul fix, de până la 61%, respectiv o creștere de până la 68% a energiei produse de un modul cu două axe de rotație față de unul fix.

7. În laboratoarele de cercetare ale Facultății de Fizică am cercetat efectele tratamentelor termice in-situ și ex-situ asupra proprietăților fizice ale straturilor subțiri de ITO. Filmele subțiri de ITO au fost preparate prin pulverizare catodică în regim de radiofrecvență. Tratamentul termic in-situ a fost efectuat prin încălzirea substraturilor probei în timpul procesului de depunere, în timp ce tratamentul termic ex-situ a fost făcut folosind un cuptor, în atmosferă ambientală. Temperaturile de încălzire au fost de 200°C, 300°C și respectiv 400°C.

8. Tratamentul ex-situ al filmelor subțiri de ITO a confirmat creșterea numărului vacanțelor de oxigen. De asemenea, pentru toate probele tratate a fost observată creșterea numărului de atomi de oxigen legați odată cu creșterea temperaturii de recoacere. În ceea ce privește transmisia optică, nu au fost observate modificări semnificative pentru eșantioanele netratate și cele tratate termic. În cazul eșantioanelor ITO supuse tratamentului ex-situ, prin evaluarea parametrului Skewness din măsurătorile AFM s-a observat că planeitatea suprafeței s-a îmbunătățit odată cu creșterea temperaturii. Deoarece numărul vacanțelor de oxigen a crescut, conductivitatea electrică a crescut semnificativ, chiar și cu 5 ordine de mărime. Așadar, recoacerea ex-situ a condus la o mai bună cristalinitate, planeitate a suprafeței și conductivitate electrică crescută comparativ cu probele tratate in-situ.

9. Am studiat comportamentul electric și fotoelectric al celulelor fotovoltaice pe bază de P3HT și PCBM. Probele au fost preparate la temperatura camerei prin tehnica spin coating și funcționalizat cu clorofila-a atât stratul activ, cât și stratul transportor de goluri al structurilor.

10. Prin folosirea Chl-a ca element constitutiv al stratului activ, cu excepția extinderii răspunsului spectral în intervalul 500-650 nm, parametrii fotovoltaici au avut valori mai mici decât cele obținute pentru structurile convenționale, lucru atribuit unui strat activ puternic neomogenizat. O structură în care stratul transportor de goluri este un amestec între PEDOT:PSS și Chl-a prezintă o scădere a barierei energetice, conducând la o colectare mai eficientă de sarcină la anod, în schimb o depunere strat cu strat de Chl-a și PEDOT:PSS crește bariera energetică la interfața anod/HSL. Așadar, proprietățile electrice și fotoelectrice au fost îmbunătățite față de structurile convenționale prin folosirea ca strat transportor de goluri amestecul PEDOT:PSS+ Chl-a (4:1).

Lista contribuțiilor proprii

Lucrări publicate în reviste cotate/indexate ISI

1. A. RADU, C. LOCOVEI, V. A. ANTOHE, M. SOCOL, D. COMAN, M. MANICA, A. DUMITRU, L. DAN, C. RADU, A. M. RADUTA, L. ION, S. IFTIMIE, S. ANTOHE (2020) Effects of annealing on the physical properties of ITO thin films grown by radio frequency magnetron sputtering, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures Vol. 15, No 3, July - September 2020, p. 679 – 687.
2. B. BITA, S. IFTIMIE, A. RADU, V.A. ANTOHE, D. COMAN, C. MIRON, D. STAICU, L. DAN, L. ION, S. ANTOHE (2019) On the electrical and photo-electrical behavior of the photovoltaic cells based on polymeric and chlorophyll-a thin films, Proceedings of the Romanian Academy, Series A, 20, Number 1/2019, pp. 51–57.
3. Luminița Dan, Marinel Dan, Cristina Miron, Ștefan Antohe (2017) Arduino Yun photovoltaic system for solar energy study in school, Proceedings of the International Conference on Virtual Learning, Sibiu, 28 Octombrie, 478-485.

Lucrări prezentate la conferințe

Conferințe internaționale

1. Ana-Maria RADUTA, Lucian ION, Sorina IFTIMIE, V. Ghenescu, M. Ghenescu, Vlad Andrei ANTOHE, Adrian RADU, Luminița DAN, Ștefan ANTOHE (2019) Physical properties of rf-sputtered ZnS and ZnSe thin films used for double-heterojunction ZnS/ZnSe/CdTe photovoltaic structures, 19th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanța, Romania, July 16-19.
2. Ovidiu TOMA, Lucian ION, Sorina IFTIMIE, Adrian RADU, Nicoleta VASILE, Luminița DAN, Diana COMAN, Ștefan ANTOHE (2017) New investigations applied on ZnSe thin films as window layers in CdTe based solar cells, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanța, Romania, July 11-14.
3. M. Dan, L. Dan, C.P.Ganea, H. V. Alexandru (2017) Conduction component of dielectric losses in ferroelectric phase of TGS, 10 th International Conference on Materials Science & Engineering, BraMat, Brasov, 8-11 Martie (Poster).

4. Marinel Dan, Paul Ganea, Horia Alexandru, Ionescu Toma, Luminița Dan (2017) Study of dielectric permittivity of pure triglycine sulphate crystals, The 9th International Conference on Advanced Materials, Rocam, Bucuresti, 11-14 Iulie 2017 (Poster).
5. L. Dan, J. Al-Zanganawee, S Iftimie, A. Radu, S. Antohe, M. Enachescu (2016) Study of physical properties of P3OT:F-SWCNTs based photovoltaic cells, 2nd Autumn School on Physics of Advanced Materials, Cluj-Napoca, 8-14 septembrie 2016 (Poster).

Conferințe naționale

1. Luminita DAN, Cristina MIRON, Marinel DAN, Corina RADU, Diana COMAN, Stefan ANTOHE (2019) The impact study of photovoltaic solar energy conversion on education in high school, Annual Scientific Conference, Bucuresti, 21-22 Iunie.
2. Ana-Maria RADUTA, Sorina IFTIMIE, Veta GHENESCU, M. GHENESCU, V. A. ANTOHE, A. RADU, Corina RADU, D. MANICA, Diana COMAN, Luminita DAN, Lucian ION, Stefan ANTOHE (2019) Study of rf-sputtered ZnS and ZnSe thin films for photovoltaic applications, Annual Scientific Conference, Bucuresti, 21-22 Iunie.
3. Luminita DAN, Cristina MIRON, Stefan ANTOHE (2018) Device for plotting the current-voltage characteristic of a photovoltaic cell using Arduino Yun, Annual Scientific Conference dedicated to the GREAT UNION CENTENARY, Bucuresti, 21-22 Iunie.
4. Luminita DAN, Cristina MIRON, Stefan ANTOHE (2018) Photovoltaic system with trackers, e-learning instrument, Annual Scientific Conference dedicated to the GREAT UNION CENTENARY, Bucuresti, 21-22 Iunie.
5. A. Calugar, S. Iftimie, A. Radu, V. A. Antohe, L. Dan, D. Coman, L. Ion, S. Antohe (2018) Photovoltaic cells with polymeric/chlorophyll-a thin films - electrical and photo- electrical characterization, Annual Scientific Conference dedicated to the GREAT UNION CENTENARY, Bucuresti, 21-22 Iunie.
6. Luminita DAN, Marinel DAN, Cristina MIRON, Stefan ANTOHE (2017) Use of the Arduino Yun development board in the photovoltaic cell teaching, Annual Scientific Conference “Knowledge means Physics”, Bucuresti, 23-24 Iunie.
7. Marinel DAN, Luminita DAN, Horia ALEXANDRU (2017) Excel spreadsheets as a didactic tool in analyzing the dynamic evolution of ferroelectric parameters of triglycine sulfate crystal, Annual Scientific Conference “Knowledge means Physics”, Bucuresti, 23-24 Iunie.