

# DE LA TUBURI ELECTRONICE LA DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE GENERATOARE DE MICROUNDE

Acad. Dan DASCĂLU<sup>1</sup>  
dan.dascalu@imt.ro

## ABSTRACT:

The history of Romanian semiconductor industry during the communist era includes an interesting episode related to the microwave generating diodes (namely IMPATT diodes), developed without a fabrication license, as a result of an original research. These diodes have been produced and exported by the former IPRS-Băneasa, a semiconductor factory. The device was important for miniaturizing a number of equipments used in communications and radar. A few models and prototypes of such equipments have been developed before 1989. This story may illustrate the capability of Romanian engineers to innovate, even in adverse conditions.

KEYWORDS: microwaves, IMPATT diodes, communications, semiconductor technology, radar.

## Introducere

Într-o expunere relativ recentă în cadrul CRIFST, regretatul col. Andrei Ciontu prezenta istoria diodei IMPATT dezvoltată în România, dispozitiv care a înlocuit clistrorul, cel puțin la nivel experimental, în unele echipamente militare<sup>2</sup>. Este una dintre rarele situații în care o realizare tehnică este prezentată de către beneficiar, reflectând într-o anumită măsură și exasperarea acestuia în fața eșecurilor de etapă și a întârzierilor inevitabile. Ca responsabil al contractului de cercetare destinat realizării diodei IMPATT, sunt în măsură să arăt cum se văd lucrurile “de cealaltă parte a baricadei”.

Care este de fapt, *semnificația realizării în România a diodei IMPATT* (IMPact Avalanche Transit-Time), dispozitiv cu avalanșă de timp de zbor? În urma unei cercetări inițiate de un colectiv din Institutul Politehnic București (IPB, în prezent Universitatea Politehnică din

---

<sup>1</sup> Coordonator al Centrului de Nanotehnologii din INCD-Microtehnologie (CNT-IMT), centru aflat sub egida Academiei Române. Profesor emerit al Universității “Politehnica” din București, <http://www.imt.ro/CNT/index.htm#1>.

<sup>2</sup> Andrei Ciontu, „Istoria diodei IMPATT românești”, în *File din Istoria Radiotehnicii și Electronicii Românești: Realizări*, Lugoj, Editura NAGARD, 2013 (Andrei Ciontu – coordonator).

București) s-au realizat în anii '70 diodele IMPATT de mică și medie putere (cu performanțele din foaia de catalog Hewlett Packard), *dispozitive aflate sub embargo*. Aceste dispozitive au fost ulterior fabricate în serie de către IPRS-Băneasa și exportate. Folosind aceleași diode IMPATT, colectivul din IPB s-a implicat în realizarea primelor radiorelee digitale din domeniul undelor centimetrice, concepute și realizate integral în țară.

### De la clistron la dioda IMPATT

Câteva precizări tehnice de ordin general sunt necesare pentru a înțelege natura problemelor care au trebuit rezolvate. Este vorba de un dispozitiv “de microunde” care funcționează în domeniul undelor centimetrice, mai exact în banda X (8-12GHz), cu lungimi de undă cuprinse între 3,75 cm și 2,5 cm. Aceasta este o parte importantă a spectrului electromagnetic, folosită pentru telecomunicații și pentru radiolocație.

În al doilea rând, dioda IMPATT este un dispozitiv cu rezistență negativă la înaltă frecvență, capabil să genereze putere de microunde (de fapt să transforme o parte din puterea absorbită de la sursa de alimentare în putere a semnalului de înaltă frecvență). Cu ajutorul unui astfel de dispozitiv montat într-un circuit rezonant (o cavitate rezonantă) se pot realiza oscilatoare, necesare într-un sistem radiotehnic atât la emisie cât și la recepție.

Este interesant faptul că atât în cazul clistronului, cât și al diodei IMPATT, comportarea tip *rezistență negativă* (care asigură un defazaj între curent și tensiune) se obține datorită întârzierii pe care o suportă electronii în tranzitarea dispozitivului și este deci un efect al timpului de zbor (*transit time*). Viteza acestor electroni este cu mult mai mică în semiconductor decât în vid. De aceea efectul dorit se obține pe distanțe mult mai scurte în dioda semiconductoare, dispozitiv care are dimensiuni mult mai mici decât tubul cu vid (clistron). Utilizarea semiconductorilor înseamnă nu numai miniaturizare, ci și durată de funcționare mult mai lungă.

Dacă tuburile electronice folosesc drept sursă de electroni un catod/filament încălzit, în dioda semiconductoare IMPATT purtătorii de sarcină electrică (electronii negativi și “golurile” pozitive) sunt generați datorită ionizării prin șoc într-o zonă de câmp electric foarte intens, printr-un proces asemănător cu cel care are loc în cazul descărcării luminescente într-un tub cu gaz.

### Tehnologie dificilă

Este extrem de important ca procesul de generare în avalanșă datorat ionizării prin șoc să fie uniform în toată secțiunea dispozitivului, iar o astfel de situație se poate obține într-o structură de tip “mesa” (*masă*, în spaniolă sau portugheză). Numele vine de la o structură geologică caracterizată de straturi orizontale, elevată printr-o mișcare tectonică și erodată de jur împrejur de factori atmosferici (arată ca o *masă* cu tăblia orizontală, clădită din straturi succesive de material). Dacă “tăblia” este rotundă, forma generată este aceea a prăjiturii cunoscute sub denumirea de “mascotă”.

Tehnologia “mesa” se folosește în industria de dispozitive semiconductoare de putere, dispozitive care trebuie să suporte și ele câmpuri intense. De aceea, de la bun început colectivul de cercetare a optat pentru utilizarea experienței existente în secția 2300 (de dispozitive de putere) de la IPRS-Băneasa.

O a doua opțiune tehnologică crucială a fost aceea de a folosi un “radiator integral” (microradiator) construit odată cu dispozitivul, ca un fel de “tipsie” pe care se găsește dioda (prăjitură) “mascotă” (a se vedea mai sus). Acest microradiator este esențial pentru a asigura evacuarea puterii disipate. Dioda trebuie să aibă o capacitate electrică foarte mică pentru a funcționa la frecvențe înalte, deci va avea o arie minusculă. Densitatea puterii disipate fiind enormă, evacuarea căldurii prin microradiator (care la rândul său se lipește într-o capsulă) este vitală.

Microradiatorul a fost construit din cupru și nu din aur, pentru a minimiza costurile. De fapt s-au fabricat mai multe zeci de diode simultan dintr-o plachetă de siliciu, placată cu cupru iar în final s-au obținut toate aceste dispozitive pe un substrat comun (folia de cupru). Desigur, această folie a fost ulterior decupată în structuri individuale, iar fiecare structură (microradiator ca suport pentru diodă) a fost lipită într-o capsulă metal-ceramică specifică utilizării în microunde.

Ideea structurii *mesa*, ca și cea a “radiatorului integral” pentru diodele IMPATT apare în literatură. Descrierea sumară de mai sus ascunde dificultăți tehnologice mari. Vom da numai două exemple:

(1) Diodele redresoare de putere nu funcționează în regim de avalanșă, ca diodele IMPATT, deoarece orice neuniformitate a câmpului electric poate deteriora iremediabil dispozitivul<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> D. Dascălu, N. Marin, Gh. Brezeanu, *Bulk breakdown in mesa IMPATT structures*, Revue Roumaine de Physique, vol. 19, 1974, pp. 571-574.

(2) Cuprul nu se folosea în industria de semiconductori în anii '70, deoarece contaminează suprafețele și determină apariția unor caracteristici electrice instabile. Au trebuit să treacă două decenii pentru a se rezolva problema utilizării cuprului în tehnologia circuitelor integrate, cuprul fiind în cele din urmă preferat pentru realizarea conexiunilor datorită conductibilității sale termice foarte bune<sup>4</sup>.

Scriind aceste rânduri, mi-am amintit îndemnul beneficiarului, col. Mircea Călugăreanu, ceva de genul: *“Tov. Dascălu, trebuie să realizezi dioda IMPATT până la 23 august (n.n.: sărbătoarea națională în perioada comunistă), chiar dacă o faceți din lemn!”*. Până la urmă dispozitivul a fost realizat, chiar dacă nu conform acestei indicații. Umorul (și răbdarea) beneficiarului au fost benefice.

### Cum a început totul?

Colectivul de cercetare format în 1973 a cuprins cadre didactice din facultatea de Electronică și Telecomunicații a Institutului Politehnic din București (s.l. dr. ing. Dan Dascălu, asist. ing. Ioan Costea, asist. ing. Gh. Brezeanu) și proaspeții absolvenți ai aceleiași facultăți (ing. Nicolae Marin, ing. Andrei Mihnea) angajați la Institutul de Cercetări pentru Componente Electronice (ICCE). În această activitate a fost angrenat și asist. ing. Teodor Tebeanu care s-a alăturat colectivului din Catedra de Dispozitive, Circuite și Aparate Electronice condusă de Prof. Mihai Drăgănescu, precum și asist. ing. Radu Dragomir. Am condus acest colectiv, care a demarat cercetarea, dar ideea inițială nu mi-a aparținut. După revenirea de la o specializare din Anglia (1969) și după susținerea tezei de doctorat (1970), când „nu prea îmi găseam locul” și începusem să scriu cărți, am fost chemat de către profesorul Mihai Drăgănescu, șeful Catedrei, la acea dată și vicepreședinte al Consiliul Național pentru Știința și Tehnologie (CNST), și îndemnat să fac ceva practic. La CNST am primit în brațe o documentație de radar meteorologic. Contractul de cercetare cu titlul *Dispozitive semiconductoare neconvenționale de microunde* a fost semnat inițial (1973) între Institutul Politehnic București și CNST, fiind transferat în anul următor la Institutul Tehnic de Cercetări și Proiectări al Armatei (ITCPA), în calitate de beneficiar. Deoarece Institutul Politehnic nu dispunea de dotări și expertiză

---

<sup>4</sup> N. Marin, Gh. Brezeanu, „Procedeu pentru realizarea unor contacte de calitate și a unei subțieri precise a plachetelor semiconductoare în tehnologia cu radiator integral” – brevet OSIM, Nr. 71366.

tehnologică, s-a apelat la ICCE. Prof. Mihai Drăgănescu a discutat direct cu directorul Ioan Bătrâna, care a acceptat fără să îl consulte – se pare – pe directorul științific Constantin Bulucea, aspect care s-a dovedit ulterior a fi foarte important.

Colectivul de cercetare a decis să realizeze dioda IMPATT cu siliciu, singurul dispozitiv cu rezistență negativă cunoscut la vremea respectivă ca fiind capabil să genereze o putere semnificativă (câteva sute de mW în banda X) și care se putea realiza în țară. O alternativă ar fi fost așa-zisa diodă Gunn (dupa numele inventatorului), dar aceasta funcționa pe baza conductivității diferențiale negative a arseniurii de galiu (GaAs), deci folosea o proprietate specială de material, inexistentă în cazul siliciului. Trebuie subliniat de la bun început că nu numai tehnologia, la care ne-am referit mai sus, era importantă; dispozitivul trebuia proiectat, încapsulat și testat. Testarea diodelor semiconductoare în domeniul microundelor necesita realizarea mecanică cu precizie a unor cavități rezonante. Nimic nu semăna cu ce se făcea pe vremea aceea în industria de semiconductori.

#### **Cine a realizat de fapt dioda IMPATT?**

Nu există nici un dubiu: dioda IMPATT ca atare a fost realizată tehnologic de către ing. Nicolae Marin, proaspăt absolvent repartizat la ICCE, care a lucrat practic tot timpul în secțiile de la IPRS-Băneasa, unde s-a și transferat în momentul în care a trebuit finalizată cercetarea. Dacă în primii ani, inclusiv la realizarea modelului experimental al dispozitivului, colaborarea cu Institutul Politehnic București a fost esențială, în faza de industrializare (în special după omologarea prototipului diodei IMPATT de mică putere din 1978), ing. Marin și-a format propriul colectiv. Pasiunea și talentul acestui electronist, care a părăsit pentru moment o cariera de cercetător științific pentru a lucra în industrie, a fost decisivă în finalizarea cercetării prin produse.

În lucrarea citată<sup>5</sup>, Andrei Ciontu descrie în mod plastic eșecul colaborării dintre Politehnica și ICCE. “Mama” dispozitivului IMPATT era ... ing. N. Marin, în timp ce presupușii “tați”, Dan Dascălu (IPB) și directorul Constantin Bulucea (ICCE), se înfruntau într-o criză de orgolii (ambii fiind, constată dl. Ciontu, olteni). Realitatea este puțin mai nuanțată. Directorul Constantin Bulucea a fost de un real folos când a explicat ce înseamnă de fapt un “model experimental”, iar cei din Politehnica au

---

<sup>5</sup> Andrei Ciontu, *op. cit.*

contribuit la montarea dispozitivului în capsulă (brevet D. Dascalu ș.a.) și testarea acestuia în microunde folosind la început drept contact electric improvizat ... o picătură de mercur (I. Costea). Nu trebuie omis nici faptul că exact în perioada critică a realizării “modelului”, Nicolae Marin a fost încorporat pentru efectuarea stagiului militar și responsabilitatea pe partea tehnologică a fost preluată de către Andrei Mihnea. De aceea, pe un plan mai larg, susținerea cercetării pe parcursul mai multor ani este rezultatul colaborării unui grup de electroniști, lucrând în IPB, ICCE și IPRS-Băneasa<sup>6</sup>.

Mai trebuie spus că și în ICCE se înființase un colectiv de dispozitive de microunde, dar „*rivalitatea cu colectivul IPB – IPRS*”<sup>7</sup> s-a manifestat mai degrabă în domeniul academic. A iritat probabil faptul că Premiul „Traian Vuia” al Academiei Romane pentru anul 1974 a fost acordat „la pachet” pentru modelul experimental al diodei IMPATT și monografia științifică<sup>8</sup> dedicată efectelor timpului de zbor. O primă teză de doctorat legată de dioda IMPATT a fost blocată de un referat negativ provenit din ICCE etc.

*Toate acestea însă au trecut și în anii următori atmosfera științifică a revenit la normal*, mai ales în cadrul Conferinței Anuale de Semiconductori (CAS), eveniment științific organizat cu succes de către ICCE începând din 1978, dar și a altor manifestări științifice, cum ar fi Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor organizat de către Facultatea de Electronică și Telecomunicații a Institutului Politehnic din București (9-10 noiembrie 1979), printre participanți numărându-se și ICCE. Realizarea și utilizarea diodelor IMPATT a făcut obiectul unui număr de comunicări<sup>9</sup>. O coincidență interesantă este aceea că în

---

<sup>6</sup> D. Dascălu, I. Costea, R. Dragomir, T. Tebeanu, Gh. Brezeanu. – *Dioda IMPATT pentru unde centimetrice – prototip omologat*, raport de cercetare Institutul Politehnic București, iunie 1978.

<sup>7</sup> Andrei Ciontu, *op.cit.*

<sup>8</sup> Dan Dascalu „*Transit-time effects in unipolar semiconductor devices*”, Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent (U.K.) and Publishing House of the Romanian Academy, 1974.

<sup>9</sup> I. Costea, Modelarea și proiectarea pe calculator a diodei IMPATT, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp.134-153; I. Costea, T. Tebeanu, Emițător cu diodă IMPATT pentru vitezometru electronic – radar, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 22-33, și Raport de cercetare IPB, martie 1979; D. Dascălu, Mecanismul generării puterii în diodele de microunde, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 128-133; D. Dascălu, I. Costea, N. Marin, Dioda IMPATT BXY 0181. Performanțe și aplicații, în *Primul*

săptămânile care au precedat evenimentele din decembrie 1989, ICCE asigura amplasamentul unuia dintre echipamentele radio cu diode IMPATT utilizat pentru o legătură experimentală (radioreleu pentru transmisia de date). „Legenda” spune că transmisia a fost oprită la solicitarea autorităților deoarece perturba recepția (clandestină!?) a unor posturi străine de televiziune.

*Un aspect cu adevărat remarcabil este modul în care se putea face cercetare în IPRS-Băneasa, în paralel cu producția.* În termenii zilei de azi putem spune că era un mediu ideal pentru “inovarea deschisă” (*open innovation*). Cercetătorul venit din exterior se putea mișca liber între secțiile fabricii și locurile de muncă, avea acces la echipamente, aparatură, precum și la cunoștințele inginerilor care dirijau producția. În cazul cercetării pentru dioda IMPATT, îmi amintesc două momente elocvente. Primul, discuția pe care am avut-o cu Anton Vătășescu (șeful secției de dispozitive de putere, ulterior directorul fabricii), desenând pe tablă structura “mesa” a diodei. Al doilea, faptul că echipa IMPATT a avut acces pe linia de montaj a secției 2400 imediat după ce specialiștii germani au terminat instalarea echipamentelor. Colaborarea colectivului din Institutul Politehnic cu IPRS s-a desfășurat foarte bine și în cadrul următorului contract, dedicat contactului metal-semiconductor, finalizat cu rezultate utile din punct de vedere tehnologic, precum și cu publicații în țară și în străinătate.

În anii '80 activitățile IPB și IPRS în domeniul microundelor s-au desfășurat în paralel. După dioda IMPATT de mică putere (100 mW în banda X), ing. Nicolae Marin a realizat dioda IMPATT de medie putere (500 mW, tot în banda X) și apoi *un dispozitiv cu totul special – dioda BARITT* (BARrier Injection Transit Time), care oferă, de asemenea, o rezistență negativă în microunde. Mult mai puțin cunoscut, acest din urmă dispozitiv poate fi folosit cu un triplu rol într-un radar Doppler cu automixare – aceeași diodă asigură oscilațiile la emisie, semnalul pentru oscilatorul local la recepție și mixarea cu semnalul recepționat. Au fost omologate, și ulterior produse în IPRS, o serie largă de module Doppler cu

---

*Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 118-127; N. Marin, D. Dascălu, Tehnologia dispozitivelor semiconductoare active de microunde. O trecere în revistă, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 105-117; T. Tebeanu, Modulația prin polarizare a oscilatoarelor cu diodă IMPATT, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 90-103.

---

diodă BARITT, utilizate ca senzori de proximitate și pentru măsurarea distanțelor. *Istoria acestui dispozitiv și a aplicațiilor sale este cel puțin la fel de interesantă ca și a diodei IMPATT și merită o prezentare separată.*

Între timp, colectivul din Politehnica a trecut la realizarea unor echipamente de radiocomunicații în banda X, folosind diodele IMPATT indigene atât la emisie, cât și la recepție (în oscilatorul local)<sup>10</sup>. S-au dezvoltat (în colaborare cu Fabrica de Calculatoare, ulterior cu Electromagnetica și cu ICRET) radiorelee digitale cu două destinații diferite: a) interconectarea calculatoarelor prin modemuri cu viteza de transmisie de 2 Mb/s; b) telefonie digitală, cu o capacitate de 8 Mb/s.

### Epilog

Evenimentele din decembrie 1989 au bulversat nu numai scena socială și politică, ci și industria și activitățile de cercetare-dezvoltare. Nimeni nu mai era interesat de dezvoltarea unor echipamente high-tech care puteau fi acum procurate fără restricții din import. Colectivul IMPATT dezvoltat în Politehnica a fost redenumit “electronică fizică” și s-a căutat un drum pe linia dispozitivelor cu corp solid (nu neaparat semiconductoare), precum microsenzorii. Primul rezultat concret a fost *câștigarea a două proiecte TEMPUS* (1991-1993) care au permis efectuarea unor stagii de specializare de durată (tipic un an) în institute de cercetare și universități renumite din vestul Europei. Unul dintre parteneri a fost *IMEC Interuniversity Microelectronics Center* (Leuven, Belgia) care *astăzi – la 30 de ani de la înființare, este de departe cel mai puternic centru de cercetare independent din Europa*. Aici au efectuat specializări prin programul TEMPUS atât ing. Nicolae Marin (devenit curând după aceea doctor inginer al Politehnicii din București), cât și dr. fiz. Alexandru Muller, de la ICCE.

O a doua direcție de acțiune a fost *crearea Centrului de Microtehnologie* (1991), devenit în 1993 Institutul de Microtehnologie (IMT) și apoi, după fuziunea cu ICCE, *Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Microtehnologie (IMT București)*<sup>11</sup>. Laboratorul de cercetare pentru dispozitive de microunde, preluat de la ICCE și condus de către

---

<sup>10</sup> D. Dascălu, I. Costea, T. Tebeanu, A. Zamfir, Al. Boian – Experimentarea unui sistem de interconectare a calculatoarelor pe purtătoare de microunde, în *Probleme de automatizare, vol.13 – Progrese în electronică și informatică*, Editura Academiei RSR, 1983, pp. 79-86.

<sup>11</sup> Vezi: [www.imt.ro](http://www.imt.ro)

Istoria acestei instituții, pe care am fondat-o și condus-o până în anul 2011, se poate consulta la adresa [www.imt.ro/retro20](http://www.imt.ro/retro20).



Alexandru Muller, a devenit centru de excelență finanțat de Comisia Europeană (2008). Evoluția acestui laborator a fost absolut spectaculoasă, activând într-un număr record de proiecte europene. A organizat recent MEMSWAVE 2016 ([www.imt.ro/memswave2016](http://www.imt.ro/memswave2016)), a 17-a ediție a unei conferințe științifice care a fost inițiată de către IMT și a parcurs ani la rând Europa, pentru a reveni acum la București. Acronimul este cel al unui proiect „legendar”, primul proiect european din tehnologia informației condus (Al. Muller) de o țară din estul Europei care a fost nominalizat (2002) pentru Premiul Descartes, distincție care răsplătește cel mai bun proiect de colaborare europeană în cercetare. Participanții la acest proiect s-au reunit recent cu ocazia MEMSWAVE, alături de numeroși alți specialiști din domeniu.

#### **Care a fost evoluția principalilor protagoniști ai istoriei rememorate mai sus?**

Ne-am despărțit din nefericire prea curând de Ioan Costea și apoi de Teodor Tebeanu, doctori ingineri în electronică și cadre didactice respectate în IPB. Un sfârșit tragic a avut și asist. Radu Dragomir.

Andrei Mihnea a emigrat în SUA, unde a continuat o carieră inginerească de succes, dar a dispărut de curând, victimă a unei boli necrutătoare.

Nicolae Marin și-a finalizat doctoratul cu profesorul Mihai Drăgănescu (folosind între altele și rezultatele obținute în cadrul stagiului la IMEC), după care a lucrat la o firmă din SUA. A revenit în țară lucrând ca șef de colectiv la Infineon Technologies Romania, după care a funcționat patru ani ca Director tehnic la IMT București, institut unde lucrează și în prezent.

Gh. Brezeanu este în momentul de față profesor universitar la aceeași catedră în care a fost repartizat după absolvire și conduce școala doctorală a Facultății de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației (ETTI).

#### **Referințe:**

- [1] Ciontu Andrei, „Istoria diodei IMPATT românești”, în *File din Istoria Radiotehnicii și Electronicii Românești: Realizări*, Lugoș, Editura NAGARD, 2013 (Andrei Ciontu – coordonator).

- [2] Costea I., Modelarea și proiectarea pe calculator a diodei IMPATT, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp.134-153.
- [3] Costea I., Tebeanu T., Emițător cu diodă IMPATT pentru vitezometru electronic – radar, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 22-33, și Raport de cercetare IPB, martie 1979.
- [4] Dascalu Dan. „*Transit-time effects in unipolar semiconductor devices*”, Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent and Publishing House of the Romanian Academy, 1974.
- [5] Dascălu D., Marin N., Brezeanu Gh., *Bulk breakdown in mesa IMPATT structures*, Revue Roumaine de Physique, vol. 19, 1974, pp. 571-574.
- [6] Dascălu D., Costea I., Dragomir R., Tebeanu T., Brezeanu Gh. – *Dioda IMPATT pentru unde centimetrice – prototip omologat*, raport de cercetare Institutul Politehnic București, iunie 1978.
- [7] Dascălu D., Mecanismul generării puterii în diodele de microunde, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 128-133.
- [8] Dascălu D., Costea I., Marin N., Dioda IMPATT BXY 0181. Performanțe și aplicații, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 118-127.
- [9] Dascălu D., Costea I., Tebeanu T., Zamfir A., Boian Al. – Experimentarea unui sistem de interconectare a calculatoarelor pe purtătoare de microunde, în *Probleme de automatizare, vol.13 – Progrese în electronică și informatică*, Editura Academiei RSR, 1983, pp. 79-86.
- [10] Marin N., Brezeanu Gh., *Procedeu pentru realizarea unor contacte de calitate și a unei subțieri precise a plachetelor semiconductoare în tehnologia cu radiator integral – brevet OSIM, Nr. 71366*
- [11] Marin N., Dascălu D., Tehnologia dispozitivelor semiconductoare active de microunde. O trecere în revistă, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 105-117.

- [12] Tebeanu T, Modulația prin polarizare a oscilatoarelor cu diodă IMPATT, în *Primul Simpozion Național de Tehnica Microundelor*, Institutul Politehnic București, 9-10 noiembrie 1979, pp. 90-103.