

**Vezetési folyamatok vizsgálata fényemittáló
pórusos szilícium szerkezetekben**

Ph.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:
Molnár Kund

MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet
(MTA MFA), Budapest, 2002

Kapcsolódó fontosabb publikációk:

[K1] K. Molnár, T. Mohácsy, M. Ádám and I. Bársony, "Porous silicon light emitting diodes-mechanisms in the operation", *Optical Materials*, vol. 17, no. 1-2, pp. 111-116, June-July 2001.

[K2] K. Molnár, T. Mohácsy, P. Varga, É. Vázsonyi and I. Bársony, "Characterization of ITO/porous silicon LED structures", *Journal of Luminescence*, 80, pp. 91-97, 1999.

[K3] K. Molnár, T. Mohácsy, A. H. Abdulhadi, J. Volk, and I. Bársony, "On the nature of Metal-Porous Si-single crystal Silicon (MPS) diodes", *Physica Status Solidi (a)*, vol. 1,2, no. 197, May 2003.

[K10] I. Bársony, K. Molnár, T. Mohácsy, E. Vázsonyi, M. Ádám, T. Lohner, "Porous silicon - promises and prospects", *Hungarian - Korean Seminar on Integrated Circuits and Devices*, Budapest, Hungary, June 24-26, 1997, pp. 229-238

[K13] Dr. Ferenczi György Emlékalapítvány, 1998. évi Ferenczi-díj

Egyéb publikáció:

K. Molnár, G. Rappitsch, Z. Huszka and E. Seebacher, "MOS varactor modeling with a subcircuit utilizing the BSIM3v3 model", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 49, no. 7, pp. 1206-1211, July 2002.

Kivonat

A pórusos szilícium (PS) szobahőmérsékleten nagy hatásfokú fotolumineszcenciájának (PL) felfedezése (1990) után a kutatások fő célja szilícium elektronikával integrálható PS fényemittáló diódák (LED-ek) készítése volt. Bár számos kutatócsoport sikeresen demonstrált elektrolumineszcenciát (EL), a PS-ban lezajló vezetési mechanizmusok és a fényemisszió feltételeinek általánosan elfogadott következetes magyarázata még mindig hiányzik.

A dolgozatban fém/PS/c-Si típusú struktúrákat vizsgáltam: Ag/PS/c-Si MESA szigetelt struktúrát p-típusú szubsztráton, és ITO/PS/c-Si struktúrát p- és n-típusú hordozón. A LED struktúrák készítését részletesen ismertetem. Az ITO/PS/c-Si szerkezet PS rétegének anódizálása alatt különböző teljesítményű halogén lámpákkal világítottam meg a szeleteket. Megvilágítást alkalmaztam a p-típusú szeletek esetében is, mely elősegíti a kisebb méretű szerkezetek kialakulását. A nagy pórusossággradiens a megvilágítás következményeként alakul ki.

A minták összetételét Rutherford visszaszórásos spektrometriával (RBS) analizáltam. Vékony, megvilágítással készült PS rétegek pórusosságát spektroszkópiai ellipszometriával (SE) vizsgáltam. SEM és TEM felvételek készültek vastagabb rétegek töreteiről. Az elektromos mérési összeállításokat ismertetem.

A PS rétegek magas hőmérsékleten végzett foszfordiffúziós adalékolásának hatását vizsgáltam az Ag/PS/c-Si MESA PS LED-ek működésére. Kimutattam, hogy minden utólagos adalékolás, mely hatással van a PS/c-Si átmenetre, hátrányosan befolyásolja a LED-ek hatásfokát.

Az ITO/PS/c-Si szerkezeteken vákuumban vettem fel az áram-feszültség karakterisztikákat különböző hőmérsékleteken a fényintenzitással együtt. Mindkét szubsztráttípus esetében megállapítottam, hogy a látható EL-ért a felelős vezetési

mechanizmus a Fowler-Nordheim alagútáram. Az áram-feszültség karakterisztika hőmérsékletfüggése és a kapacitás-feszültség karakterisztika frekvenciafüggése alapján az elektromos helyettesítőképeket meghatároztam.

A stabilitást és öregedést vizsgáltam levegőben és vákuumban, eljárást dolgoztam ki a környezeti hatások kiküszöbölésére. A szerkezetek fotoérzékenységet és a nedvesség befolyását szintén vizsgáltam.

Az új tudományos eredmények összefoglalása (Tézisek)

1. Si alapú fényemittáló diódákat (LED) valósítottam meg szilárd kontaktussal (Ag, Al ill. ITO) különböző pórusos szerkezeteken. Kidolgoztam a Si-LED előállítási technológiáját planáris kivitelben a pórusos dióda laterális szigetelése nélkül (blanket) [K2, K4, K9] valamint nitrid szigeteléssel, ill. MESA-mart, nem-planáris kivitelben p- és n-típusú Si szubsztráton [K6, K7, K10, K11].

2. Új eljárást dolgoztam ki a pórusosság optimális beállítására p-típusú Si szubsztrát anódizációja során (utókezelés nélkül), melynek lényege a többségi lyukkoncentráció nemegyensúlyi megemlése az elektrokémiai marás alatti intenzív megvilágítással [K2, K4].

3. Kimutattam, hogy passzívalatlan pórusos Si alapú LED-ek megbízható elektromos és optikai minősítése csupán a környezeti hatások kiküszöbölésével lehetséges. Ennek megfelelően eljárást dolgoztam ki kontrollált atmoszférában (vákuumkriosztátban) történő eszközminősítésre [K2, K4, K9].

4. MESA típusú LED szerkezetekben kísérletileg kimutattam az elektrolumineszcens spektrum megváltozásának az okát a diffúziós adalékolás következtében, ami az egykristályos szubsztrátból injektált többségi töltéshordozók rekombinációjára vezethető vissza az ellentétes típusú rétegben, amely a diffúzió során alakult ki [K6, K7, K10, K11].

5. Módszert dolgoztam ki a pórusos Si alapú LED-ek egyen- és váltakozóáramú elektromos és optikai viselkedésének egyidejű mérésére, amely lehetővé teszi mind az elektromos (admittancia), mind az optikai (fényintenzitás) paraméterek hőmérsékletfüggő felvételét különböző frekvenciákon és munkapontokban [K2].

6. Kimutattam, hogy az elektrolumineszcencia mindkét szubsztrát típus esetében csak Fowler-Nordheim típusú áramból jön létre, amely az alacsonydimenziós (1D kvantumhuzal, ill. 0D kvantumpötty) szerkezetek bekapcsolását jelenti a rekombinációs folyamatokba [K2, K4, K9, K13].

7. Pórusos Si LED szerkezeteken bebizonyítottam, hogy a letörést megelőzően a zárókarakterisztika hasonló módon írható le, mint a hagyományos p-n-átmenetekben.

Az eltérő morfológiájú szerkezetekben letörés után ($V_R > V_{BR}$) n-típus esetén ($V_{BR} < 10V$) fellép a Fowler-Nordheim áram és a fényemisszió. P-típusú LED-eken ($V_{BR} > 30V$) $V_R < 30V$ mellett nem észlelhető fényemisszió, a hagyományos zárókarakterisztika figyelhető meg [K1, K3].

8. Meghatároztam a pórusos Si fényemittáló eszköz általános helyettesítő kapcsolását, amely leírja a LED elektromos viselkedését mind nyitó-, mind záróirányban mindkét szubsztrát típus esetén. A kapcsolás a szubsztrát-pórusos Si heterodiódából, és az ezzel sorbakapcsolt nemlineáris (F-N) és lineáris (pórusos Si) ellenállás párhuzamos kapcsolásából, valamint az ezeket áthidaló „egykristályos sziget” ellenállásából tevődik össze. A paraméterek meghatározását a hőmérsékletfüggő egyenáramú jelleggörbék alapján végeztem el [K1, K3, K5].