

ELABORAREA TEHNOLOGIEI DE OBTINERE A PLATFORMEI PENTRU STUDIUL PROPRIETĂȚILOR FLEXOELECTRICE

Cătălin TRIFAN^{1*},
Aurel BABILUNGA¹,

¹Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică,
Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor,
gr. MN-181, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Trifan, Cătălin, e-mail catalin.trifan@mib.utm.md

Rezumat. Flexoelectricitatea prezintă un fenomen interesant pentru cercetare din simplu motiv că datorită eficacității la nivelul nanometric, se pot construi nanogeneratoare bazate pe acest fenomen, respectiv, scopul lucrării este de a prezenta o modalitate de studiu al materialelor pentru a monitoriza prezența acestor proprietăți.

Cuvinte cheie: flexoelectricitate, gradient, corodare izotropă, structuri poroase.

Introducere

Studiul proprietăților flexoelectrice prezintă un interes sporit pentru cercetare din simplu motiv că acest fenomen este mai efectiv la scară micro-, nanometrică decât piezoelectricitatea [1], care este un fenomen similar, dar nu identic. Deosebirea dintre aceste fenomene constă în modul de aplicare a tensiunii mecanice (în cazul efectului direct): la flexoelectricitate ea se aplică neuniform (există un gradient de tensiune mecanică), iar la piezoelectricitate – uniform [2]. Respectiv, apare un gradient de tensiune electrică la flexoelectricitate, iar la piezoelectricitate această tensiune este uniform distribuită pe întreg dielectric. Aceeași situație se obține în cazul efectului invers.

Procesul tehnologic

În calitate de suport au fost folosite cristale de InP de n – tip cu concentrația electronilor de $1.2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Suportul a fost supus procesului de fotolitografie, folosind fotorezist (FR) pozitiv și mască în formă de fâșii cu lățimea de 110 μm precum și spațiul între ele de 35 μm . Apoi zonele care nu au fost acoperite cu fotorezist au fost supuse corodării electrochimice, utilizând ca electrolit soluție de 5% HCl și tensiunea aplicată de 3.5 V timp de 1 min. La această etapă s-a depistat că curentul electric descrește exponențial cu timpul. Scopul acestei etape este de a crea o structură poroasă cu pori suficient de mari ca să fie ușor de distrus pereții dintre ei și de obținut șanțul dorit, utilizând o soluție de HCl:H₃PO₄ cu raportul de 1:1. Pentru înlăturarea regiunilor poroase formate suportul a fost ținut în soluția dată timp de 20 secunde.

Alegerea și optimizarea designului platformei și metodei de obținere

Este evident că la aplicarea forței asupra probelor plasate pe o platformă plată, precum este prezentat în Figura 1a, nu vom putea extrage careva semnale electrice din cauza dificultății creării gradientului de tensiune mecanică sau a riscului sporit de a distruge proba. De aceea, este necesar de creat spațiu în suport sub microtub pentru a putea deforma proba la aplicarea forței. Se propune de format un canal sub microtubul investigat așa cum este prezentat în Figura 1b. Varianta dată se propune a fi realizată prin corodarea chimică anizotropă a substratelor de Si cu orientarea cristalografică (100). Astfel, conform Figurii 1c, la aplicarea tensiunii mecanice microtubul de GaN va avea spațiu suficient pentru deformare. De menționat însă, că configurația dată a canalului de tip "V" nu este perfectă, deoarece unghiul format după direcția $\langle 111 \rangle$ cu suprafața (100) a platformei este un unghi de 135 grade, care ar putea împiedica deformarea liberă a microtubului.

În legătură cu aceasta, se propune de modificat secțiunea transversală a canalului de la V-tip la semicerc după cum este prezentat în Figura 1d,e. Configurația dată a canalului va avea un unghi de aproximativ de 90 grade ce va permite deformarea microtubului fără careva impedimente.

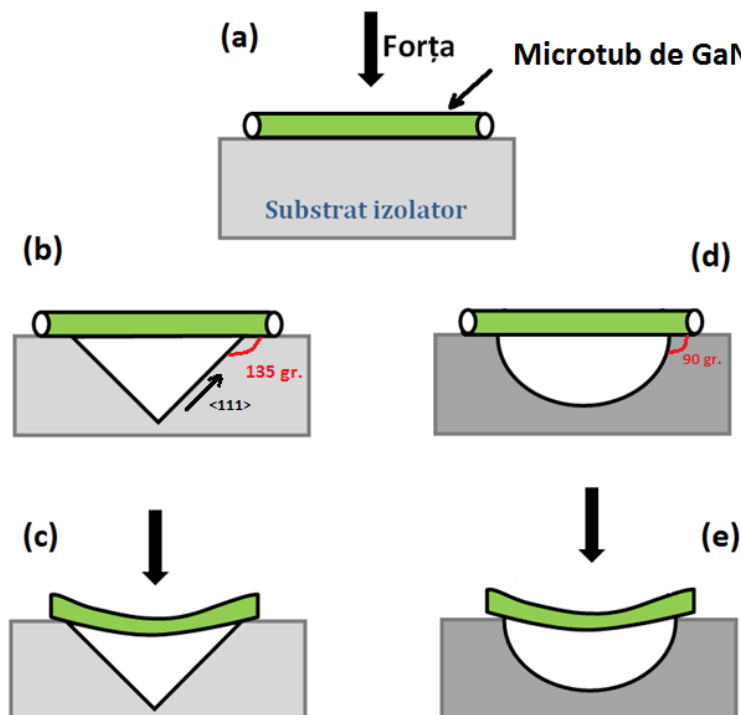


Figura 1. Reprezentarea schematică a aplicării tensiunii mecanice asupra unei probe de formă tubulară (a). Secțiunea transversală a substratului elaborat cu canal în formă de "V" (b,c) și versiunea optimizată cu canal în formă de "semicerc" (d,e)

Ambele forme a canalelor ar putea fi confecționate prin corodarea chimică anizotropă a cristalelor de Si pentru canal V-tip și respectiv corodarea chimică izotropă pentru un canal semicerc [3]. Însă, corodarea chimică necesită ridicarea temperaturii electrolitului până la 80 °C pentru a spori viteza de corodare. De asemenea, electrolitul folosit pentru corodarea chimică anizotropă a Si este KOH care atacă masca protectoare din fotorezist de pe suprafața cristalului.

Ca o alternativă ar putea servi corodarea electrochimică a cristalelor semiconductoare. Este știut că corodarea electrochimică este un proces cost-efectiv și posedă o viteză de corodare înaltă [4]. Reieșind din acesta, se propune de a forma strat poros în regiunile care nu sunt acoperite de fotorezist (regiunea canalului), apoi stratul poros format se dizolvă în soluție concentrată de $\text{HCl:H}_3\text{PO}_4$ după cum este descris în secțiunea experimentală.

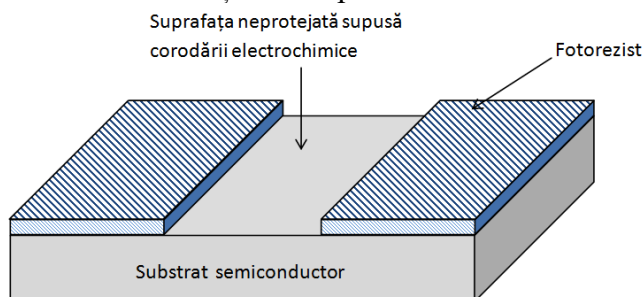


Figura 2. Reprezentarea schematică a procesului de formare a canalului în formă de semicerc prin corodarea anodică a substratului semiconductor

Ca urmare, un strat pasivant de SiO_2 sau Si_3N_4 se depune pe platforma elaborată pentru a evita imactul conductibilității platformei semiconductoare asupra microfirului investigat.

Rezultate și discuții

În procesul de fabricare a platformei a fost folosită masca fotolitografică în formă de fâșii cu lățimea de la 70 μm până la 110 μm precum și spațiul între fâșii de 35 μm pentru a fi fabricate mai multe canale pe suprafața cristalului semiconductor și de a investiga impactul lățimii fâșiilor asupra distanței finale între canale. Acest lucru se motivează prin faptul că corodarea electrochimică se începe de la suprafața neprotejată cu fotorezist, însă, odată ce porii evoluționează pentru durată de timp t_1 , direcția lor de creștere este îndreptată și lateral după cum este prezentat în Figura 3. Astfel, lățimea canalului va fi definită nu numai de lățimea spațiului dintre fâșiile de fotorezist, dar și de timpul de corodare electrochimică după cum este prezentat în Figura 3 pentru regiunea poroasă 1. Totuși, cu creșterea timpului până la t_2 porii din regiunile vecine poroase 1 se întâlnesc, formând un strat poros alternant.

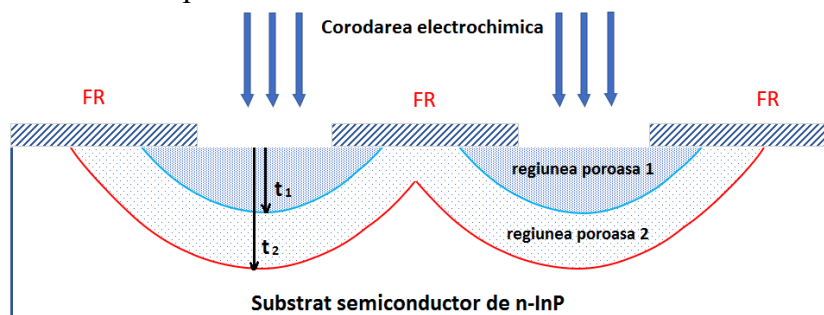


Figura 3. Evoluția spratului poros în adâncime și sub regiunile protejate în dependență de timpul de anodizare

În studiul efectuat a fost optimizat timpul de corodare astfel încât să stopăm procesul electrochimic pentru formarea regiunii poroase 1. În rezultatul corodării electrochimice timp de 1 min, cu masca fotolitografică cu lățimea fâșiilor de 110 μm și distanța între ele de 35 μm , am obținut strat poros cu adâncimea de $\approx 32 \mu\text{m}$ și lățimea de $\approx 67 \mu\text{m}$ după cum este prezentat în Figura 4b. Lățimea canalului format este depășește lățimea spațiului inițial între fâșii aproape de 2 ori. Respectiv, între 2 canale consecutive nu sunt 110 μm , ci 77 μm .

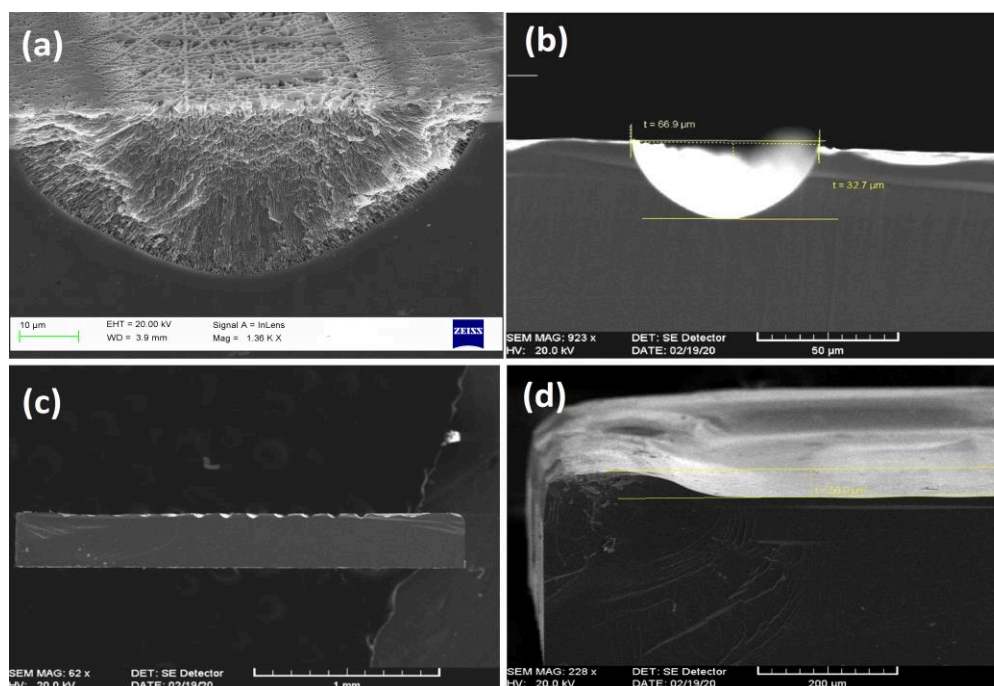


Figura 4. Imagini SEM a substratului semiconductor de n-InP: (a) – după corodarea electrochimică timp de 1 min; (b) – canalul cu forma semicircumferință obținut după înlăturarea chimică a stratului poros din (a); (c) – mai multe canale consecutive; (d) – după corodarea electrochimică timp de 2 min și înlăturarea chimică a stratului poros

La durată mai îndelungată de corodare electrochimică (t_2), stratul poros format, reprezentat schematic în Figura 3 ca *regiunea poroasă 2*, se contopește cu regiunea vecină. Acest lucru nu este binevenit deoarece în cazul formării mai multor canale pe suprafață, după înlăturarea stratului poros format se va obține o groapă în semiconductor (vezi Figura 4d) în loc de suprafață plană cu mai multe canale (vezi Figura 4c).

Ca o optimizare posibilă dar nu obligatorie ar putea fi adăugată în procesul tehnologic următoarea sugestie. Se propune ca microtubul investigat să fie plasat în alt canal orientat perpendicular pe *canalul 1* după cum este prezentat în Figura 5a. Pentru formarea *canalului 2* se va implica un proces fotolitografic suplimentar precum și o corodare electrochimică suplimentară timp de 30 sec ce va rezulta în adâncirea canalului la circa 20 μm de la suprafață. Necesitatea acestui *canal 2* este argumentată prin faptul că microtubul va fi adâncit în platformă (vezi Figura 5b) și va avea o stabilitate mai înaltă la aplicarea tensiunilor mecanice.

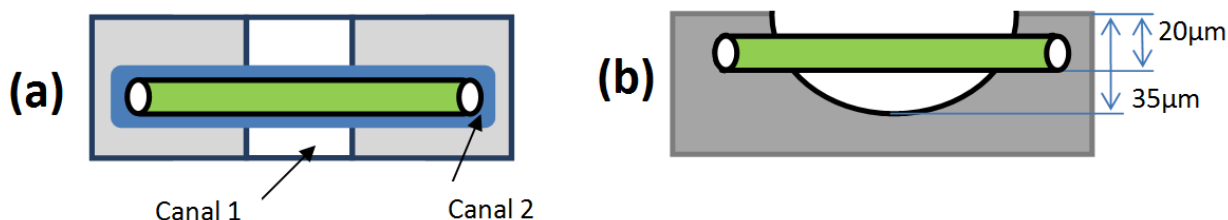


Figura 5. Vederea de sus a platformei în care va fi amplasat tubul (a); adâncimea canalelor (b)

Concluzii și recomandări

În lucrarea dată am proiectat designul platformei pentru studiul proprietăților flexoelectrice a nanotuburilor de GaN cu diametrul de 2-5 μm și grosimea pereților nanotubului de 50 nm. Experimental a fost optimizat procesul tehnologic și anume: a fost aleasă lățimea optimă a fâșiilor măștii fotolitografice precum și spațiul dintre ele; a fost ales experimental durata corodării electrochimice. Se propune de a introduce un canal perpendicular în care se va așeza microtubul pentru ai oferi o stabilitate mai înaltă pe platformă în timpul măsurărilor.

Mulțumiri. Autorii mulțumesc conducătorului științific, domnului Dr. conf. Eduard Monaico pentru acel bagaj de sfaturi, cunoștințe, abilități și aptitudini de lucru în laborator acumulate. Această lucrare a fost elaborată în cadrul proiectului program de stat cu cifrul 20.80009.5007.20.

Referințe

1. JIANG, X.; HUANG, W.; Zhang S. Flexoelectric nano-generator: Materials, structures and devices. In: *Nano Energy*, 2013, 2 (6), pp. 1079-1092.
2. KATZIR, S. Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. In: *Notes Rec. R. Soc.*, 2012, 66 (2), pp. 141–157.
3. KARANASSIOS, V.; MEW, G. Anisotropic Wet Chemical Etching of Si for Chemical Analysis Applications. In: *Sensors and Materials*, 1997, 9 (7), pp. 395-416.
4. TIGINYANU, I.M.; MONAICO, E.; ALBU, S.; URSAKI V.V. Environmentally friendly approach for nonlithographic nanostructuring of materials. In: *Phys. Stat. Sol. (RRL)*, 2007, 1 (3), pp. 98–100.