

## Titlu Faza:

### **Studiul proprietatilor fotoelectrice ale filmelor nanocristaline pe baza de aliaje binare din sistemul SiGeSn**

#### Obiective:

Investigarea proprietatilor fotoelectrice ale filmelor nanocristaline pe baza de aliaje binare din sistemul SiGeSn si optimizarea compozitiei filmelor pentru aplicatii optoelectronice.

#### Rezultate estimate initial:

Analiza a structurii si morfologiei filmelor obtinute prin varierea compozitiei si a conditiilor de preparare si analiza proprietatilor fotoelectrice ale filmelor astfel preparate, avand in vedere ca obtinerea unor filme cu caracteristici optime in raport cu aplicatiile vizate se bazeaza pe corelarea dintre morfologia si structura filmelor si proprietatile fotoelectrice.

#### Rezultate obtinute:

Aliajele din sistemul  $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$  contin numai elemente din grupa a IV-a si sunt studiate in special pentru posibilitatea de a extinde aplicatiile Si prin modificarea benzii interzise si prin ingineria tensiunilor interne. Cea mai importanta proprietate este obtinerea benzii interzise directe, cu aplicatii in emisia si detectia luminii in domeniul infrarosu apropiat. Aliajele binare din sistemul GeSiSn, GeSn si SiGe, au proprietati remarcabile ca materiale de volum, dar mai ales sub forma de nanocristale (NC).

In raportul de faza am analizat proprietatile fotoelectrice ale filmelor cu NC de GeSn si SiGe inglobate in oxizi, corelate cu proprietatile structurale si electrice ale acestora si cu conditiile de preparare. Probele au fost preparate prin pulverizare cu magnetron si tratament termic rapid. Depunerea s-a realizat pe substrat de Si monocristalin la temperatura camerei sau incalzit. Investigarea morfologiei si structurii filmelor s-a realizat prin difractie RX (Bruker D8 Advance, in geometrie Bragg-Brentano), microscopie electronica (Jeol ARM 200F) si spectrometrie Raman. Pentru masuratorile de spectrometrie optica in domeniul UV-VIS-IR (0,2 – 3  $\mu\text{m}$ ) s-au folosit spectrometrele SPECTRUM BX II si Lambda 950 (Perkin Elmer). Masuratorile fotoelectrice -au realizat folosind un lant de masura continand un criostat cu He cu circuit inchis, o sursa Keithley 236, un amplificator lock-in Stanford SR810, o lampa cu halogen de 200 W, un chopper SR540 (120 Hz) si un monocromator cu retea.

#### **Probe de GeSn-SiO<sub>2</sub>**

Am preparat probe de  $(\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x)_{1-y}(\text{SiO}_2)_y$  de tip monostrat prin co-depunere MS in vid ultraintal din tinte de Ge, Sn si SiO<sub>2</sub>, pe suport de Si monocristalin si de quart. Depunerile s-au realizat fie pe substrat la temperatura camerei, fie pe substrat incalzit la temperatura Ts. S-a continuat cu tratament termic la Tann.

Am pus in evidenta ca la cresterea continutului de Sn in proba, procesul de nanocristalizare este favorizat. Astfel, intr-o proba cu 22% Sn, depusa pe suport incalzit la temperatura Ts=200 °C (Fig. 1), in proba asdep maximele largi corespunzatoare planurilor cristaline (111), (210) si (311) ale GeSn sunt mai pronuntate decat in proba cu 14.3 % Sn. De asemenea, nanocristalizarea se produce la temperaturi mai mici (Tann=300 °C in proba cu 22% Sn fata de 400 °C in proba cu 14.3% Sn). Remarcam segregarea  $\beta$ -Sn, evidentiata prin maxime la unghiuri  $2\theta$  in intervalul 30-33 grade. Observam ca odata cu segragarea  $\beta$ -Sn se modifica pozitiile maximelor corespunzatoare GeSn spre unghiuri mai mari. Aceasta corespunde modificarii concentratiei de Sn in aliajul de GeSn. Din masuratorile de reflectanta si transmitanta realizate pe probe cu continut diferit de Sn am concluzionat ca prin cresterea concentratiei de Sn se obtine o scadere a gapului optic, asa cum este de asteptat. Dar, asa cum a rezultat din masuratorile de RX (Fig1),

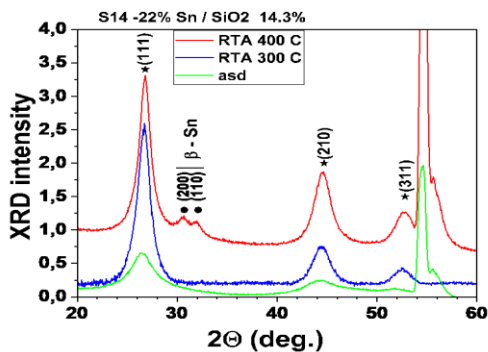


Fig. 1 Difractograma RXD pe proba cu 14.3% Sn si 11.8% SiO<sub>2</sub>, depusa pe p-Si, T<sub>s</sub> = 200 °C: proba asdep, T<sub>ann</sub> = 300 °C si 400 °C.

### Filme nanocristaline pe baza de aliaje de SiGe

Am analizat probe de SiGe-TiO<sub>2</sub>. Am aratat ca in urma tratamentului termic pe grosimea filmului se diferentiaza doua zone: interiorul filmului si suprafata libera a acestuia. La suprafata libera sunt prezente NC mari de SiGe, de ~ 50 nm lungime si compozitie Ge:Si = 80:20. In interiorul filmului, NC de SiGe cu structura cubica au diametrul de 5-20 nm si compozitia Ge:Si = 40:60 – Fig. 2.

Am analizat distributiile spectrale ale fotocurentului pe aceste probe in comparatie cu probe de Ge-TiO<sub>2</sub> preparate in conditii similare. Am determinat o deplasare a limitei de fotosensibilitate de la 1240 nm - Ge-TiO<sub>2</sub> la 1310 nm la 1240 nm -SiGe-TiO<sub>2</sub>. In mod surprinzator, limita de fotosensibilitate corespunde unor lungimi de unda mai mari in filmul cu NC de SiGe fata de cel cu NC de Ge.

### Concluzii si perspective:

Am raportat rezultate ale studiilor pe sisteme de NC de GeSn si SiGe imersate in SiO<sub>2</sub> respectiv TiO<sub>2</sub>. In probele de GeSnSiO<sub>2</sub> cu 14% Sn si 12% SiO<sub>2</sub> depuse pe substrat incalzit la 200 °C si tratate la 400 °C am gasit ca fotosensibilitatea se extinde pana la 2.4 μm. Materialul este astfel de interes pentru folosirea in locul InGaAs. Am studiat comparativ Ge-TiO<sub>2</sub> si SiGe-TiO<sub>2</sub>. Am aratat ca nanocrystalizarea se realizeaza la temperaturi mai mari in probele de SiGe-TiO<sub>2</sub>; am obtinut o modificare a pragului de fotosensibilitate cu ~70 nm spre λ mai mari in probele cu NC de SiGe.

Avantajele esentiale ale acestor materiale sunt completa compatibilitate cu tehnologia Si si faptul ca materiile prime si tehnologia de obtinere sunt prietenoase cu mediul. Continuarea acestor studii va oferi posibilitatea optimizarii proprietatilor electrooptice ale materialelor studiate, corelat cu cele structurale, functie de metodele de preparare, facand astfel posibila obtinerea de materiale sensibile in domeniul de lungimi de unda vizat pentru fiecare aplicatie. De asemenea, avem in vedere extinderea studiilor la sisteme cu NC de GeSiSn imersate in oxizi.

nanocrystalizarea in probe cu concentratii mari de Sn duce la segragarea β-Sn.

Din datele prezentate in faza rezulta ca in probele de GeSnSiO<sub>2</sub> depuse prin MS procesul de nanocrystalizare a GeSn este influentat de continutul de Sn si de SiO<sub>2</sub> al stratului, de temperatura substratului in timpul depunerii si de temperatura de tratament termic ulterior. Probele cu continut moderat de Sn (~14 %) si de SiO<sub>2</sub> (~ 12 %), depuse pe substrat incalzit la 200 °C si tratate ulterior la 400 °C prezinta fotosensibilitate extinsa pana la 2.4 μm in SWIR, si sunt promitatoare pentru fabricarea in viitor a fotodetectorilor care sa inlocuiasca pe cei de InGaAs, folositi comercial in prezent.

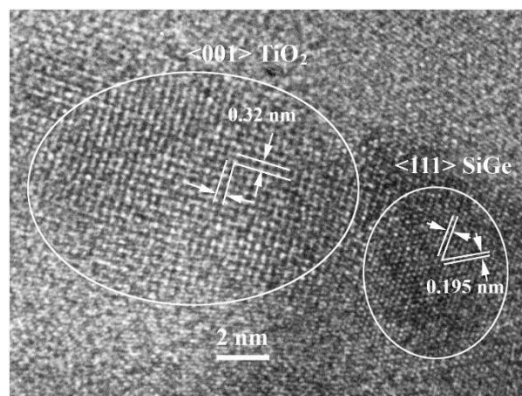


Fig. 2 Imagine HRTEM din mijlocul stratului cu NC de GeSi in TiO<sub>2</sub> Se observa NC de GeSi cubice de dimensiune 5-20 nm.