

## FROM SI NANOWIRES TO GE NANOCRYSTALS FOR VIS-NIR-SWIR SENSORS AND NON-VOLATILE MEMORIES: A REVIEW

Ana-Maria LEPADATU<sup>1,\*</sup>, Ionel STAVARACHE<sup>1</sup>, Catalin PALADE<sup>1</sup>,  
Adrian SLAV<sup>1</sup>, Valentin A. MARALOIU<sup>1</sup>, Ioana DASCALESCU<sup>1</sup>,  
Ovidiu COJOCARU<sup>1</sup>, Valentin S. TEODORESCU<sup>1,2</sup>, Toma STOICA<sup>1</sup>,  
Magdalena L. CIUREA<sup>1,2,\*</sup>

**Rezumat.** Si și Ge nanocristalin prezintă un interes crescut pentru fotonica integrată pe Si cu aplicații în dispozitive de emisie de lumină, senzori optici, fotodetectori, captarea și conversia energiei solare, precum și pentru memorii nevolatile cu poartă flotantă (NVMs). În această lucrare prezentăm filme de Si poros nanocristalin (nc-PS), filme formate din doturi cuantice (QDs) de Si înglobate în matrice de SiO<sub>2</sub> și nanocristale (NCs)/QDs/nanoparticule (NPs) de Ge imersate în oxizi (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Cea mai atractivă și importantă proprietate a nc-PS este fotoluminescența intensă în domeniul vizibil (VIS) la temperatura camerei (RT), pe când NCs/NPs de Ge imersate în oxizi prezintă fotosensibilitate crescută în vizibil-infraroșu apropiat-infraroșu de lungimi de undă scurte (VIS-NIR-SWIR). Astfel, spectrele de fotocurent măsurate la RT se extind în SWIR până la 1325 nm. NVMs cu poartă flotantă formate din NCs/NPs/QDs de Ge prezintă proprietăți de memorie de înaltă performanță, caracteristicile de retenție corespunzând datelor actuale raportate în literatură pentru NVMs cu poartă flotantă pe bază de NCs. De asemenea, demonstrăm importanța controlului parametrilor de preparare pentru obținerea filmelor cu proprietăți țintite de fotoluminescență, fotosensibilitate și proprietăți de stocare de sarcină pentru aplicații, e.g. senzori optici și fotodetectori în VIS-NIR-SWIR, precum și NVMs electronice și fotoelectrice. Evidențiem corelația dintre condițiile de preparare, morfologia, compoziția și structura cristalină cu proprietățile optice, electrice, fotoelectrice și de stocare de sarcină, și de asemenea evidențiem contribuția efectului de confinare cuantică, a stărilor localizate și a centrilor de captură.

**Abstract.** Nanocrystalline Si and Ge are of high interest for integrated Si photonics related to light emission, optical sensors, photodetectors, solar energy harvesting and conversion devices, and also for floating gate non-volatile memories (NVMs). In this review, we have focused on nanocrystalline porous Si (nc-PS) with extension to Si nanodots, and Ge nanocrystals (NCs)/quantum dots (QDs)/nanoparticles (NPs) embedded in oxides (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). The great asset of nc-PS is its intense photoluminescence in VIS at room temperature (RT), while Ge NCs/NPs embedded in oxides show high photosensitivity in VIS-NIR-SWIR in the spectral photocurrent up to 1325 nm at RT. Ge NCs/NPs/QDs floating gate NVMs present high memory performance, the retention characteristics corresponding to the state of the art for NCs floating gate NVMs. We prove the relevance of controlling the preparation parameters for obtaining films with targeted photoluminescence, photosensitivity and charge storage properties for applications, e.g. VIS-NIR-SWIR optical sensors and

<sup>1</sup> National Institute of Materials Physics, 405A Atomistilor Street, 077125 Magurele, Romania

<sup>2</sup> Academy of Romanian Scientists, 54 Splaiul Independentei, 050094 Bucuresti, Romania

\* Correspondence: ciurea@infim.ro, lepadatu@infim.ro

*photodetectors, and electronic and photoelectric NVMs. We evidence the correlation of preparation conditions, morphology, composition and crystalline structure with optical, electrical, photoelectrical and charge storage properties and also evidence the contribution of quantum confinement effect, localized states and trapping centers.*

**Keywords:** nanocrystalline porous Si, Si nanodots, Ge nanocrystals embedded in oxides, VIS-NIR-SWIR sensors, floating gate non-volatile memories

**DOI** <https://doi.org/10.56082/annalsarscimath.2022.1-2.53>

## 1. Introduction

Group IV semiconductors are intensively investigated [1-4] along with group III–V [5, 6], II–VI [7-17] and IV–VI semiconductors [18, 19].

From Group IV, Si is the most studied material [20, 21], it is considered by a large research community and engineers in the world as the most “powerful” material for its important applications in micro- and optoelectronics (from discrete devices to integrated circuits), and micromachining. Nanocrystalline Si brings new benefits for these kinds of applications, e.g being nc-PS and films of Si NCs embedded in SiO<sub>2</sub> matrix that are an important hope for fabrication of Si based optoelectronic devices. By finding this alternative solution, the III–V and II–VI materials (that are unprotective and unfriendly to the environment) on which at present optoelectronics is based, can be replaced with ecological Si – based materials. nc-PS has many applications in micro- and nanoelectronics, e.g. sacrificial layers, isolation walls etc., as mentioned before.

Special focus is also given to the research of Ge quantum dots (QD)/nanocrystals (NCs) for photodetectors [22-26], solar energy harvesting [27, 28] and conversion devices [29] or for light emission and integrated light sources [30-32], and also for floating gate non-volatile memory devices [33-35]. Ge NCs are compatible with mainstream CMOS technology and present reduced thermal budget compared to Si NCs formation, and also larger exciton Bohr radius than Si.

In this review, we have focused on nanocrystalline porous Si (nc-PS) including Si nanodots, and Ge NCs/QDs/nanoparticles (NPs) embedded in oxides (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). The relationship between preparation conditions, morphology, composition and structure, and optical, electrical, photoelectrical and charge storage properties together with the contribution of quantum confinement (QC) effect, trapping levels and localized states are evidenced. We prove the relevance of controlling the preparation parameters for obtaining films with targeted photoluminescence, photosensing and charge storage properties for applications, e.g. visible-near infrared-short wave infrared range (VIS-NIR-SWIR) optical sensors and photodetectors, and floating gate non-volatile memories (NVMs).