

(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2022 00347**

(22) Data de depozit: **20/06/2022**

(41) Data publicării cererii:  
**29/12/2023** BOPI nr. **12/2023**

(71) Solicitant:  
• **PAVEL EUGEN, CALEA MOȘILOR  
NR. 274, BL. 18, SC. A, ET.9, AP. 34,  
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:  
• **PAVEL EUGEN, CALEA MOȘILOR  
NR. 274, BL. 18, SC. A, ET.9, AP. 34,  
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **SENZOR DE IMAGINE CU CONFINARE CUANTICĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor de imagine cu confinare cuantică, cu utilizare în camerele digitale, pentru îmbunătățirea rezoluției camerei digitale prin înlăturarea limitării cauzate de difracția luminii. Senzorul de imagine, conform invenției, este alcătuit dintr-un strat de material cu confinare cuantică, depus pe o rețea de celule cu tranzistoare MOSFET, în zona porților de control și un strat conductor transparent, montat deasupra stratului de material cu confinare cuantică, utilizat pentru ștergerea sarcinilor parazite.

Revendicări: 24  
Figuri: 2

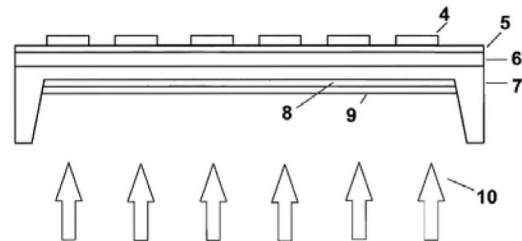


Fig. 2



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. .... a 2022 00347
Data depozit ..... 20.06.2022

33

## SENZOR DE IMAGINE CU CONFINARE CUANTICA

### DOMENIUL TEHNIC AL INVENȚIEI

Camerele digitale au o largă răspândire, fiind incorporate în diverse dispozitive precum aparate foto, camere web, senzori pentru medicina, spectrometrie, interferometrie, astronomie, telefoane mobile, etc.

Invenția se referă la un senzor de imagine îmbunătățit de tip CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor).

Problema tehnică pe care o rezolvă această invenție constă în creșterea rezoluției camerelor digitale cu utilizarea materialelor bazate pe confinarea cuantică, înlăturând limitarea determinată de difracția luminii.

### STADIUL TEHNICII

Camerele digitale sunt de două tipuri: CCD și CMOS. Camera CCD a fost inventată în 1969 de W.S.Boyle și G.E. Smith ("Charge Coupled Semiconductor Devices". Bell Syst. Tech. J. 49 (4): 587-593; US 3,792,322, „Bured channel charge coupled devices”, Feb. 12, 1974; US 3,796,927, „Three dimensional charge coupled devices”, Mar. 12, 1974). Dispozitivul constă dintr-o mulțime de condensatori care transferă controlat sarcina electrică creată în fiecare celulă către un centru de citire. Utilizările propuse sunt multiple: memorie, linie de întârziere, dispozitiv de captare a imaginii, registru de deplasare. Cea mai spectaculoasă utilizare a camerelor CCD a fost cea realizată de către Hubble Space Telescope.

Camerele de tip CMOS au senzori cu pixeli activi care contin o fotodioda si unul sau mai multi tranzistori MOSFET. Senzorii de tip CMOS au fost dezvoltati ca o alternativa la CCD. Fotodioda este de tip PPD (pinned photodiode). Camerele digitale cu senzori CMOS au fost incorporate in telefoanele mobile si domina piata senzorilor digitali din 2007. Avantajul major al senzorilor CMOS este pretul redus comparativ cu pretul senzorilor CCD. Suplimentar, consumul de energie este redus iar echipamentele de productie sunt mai ieftine. Senzorii CCD au un singur amplificator pentru toti pixelii, in timp ce senzorii CMOS au pentru fiecare pixel propriul amplificator. Intrucit montajul CMOS reduce aria de captare a fotonilor, se introduce o microlentila in fata fiecarei fotodiode pentru focalizarea luminii pe zona sensibila. Dimensiunea pixelilor determina numarul de fotoni absorbiti. In cazul camerelor cu senzori BSI-CMOS (back-side-illuminated) sensibilitatea creste intrucit iluminarea se efectueaza pe partea opusa conexiunilor electrice si dimensiunea senzorului se poate reduce.

Difractia luminii limiteaza rezolutia camerelor foto. Dimensiunea minima a pixelilor este determinata de criteriul Rayleigh referitor la suprapunerea discurilor de difractie Airy.

Formula pentru rezolutia unghiulara minima este urmatoarea:  $\sin(\theta) = 1,22 \lambda / a$ , unde  $\lambda$  este lungimea de unda a luminii, si  $a$  este diametrul obiectivului camerei.

Utilizarea unor metode care sa evite limitarea rezolutiei datorita difractiei luminii ar permite realizarea unor senzori de imagine cu rezolutie marita. Litografierea cantica optica [1-5] este singura metoda optica cu care s-a reusit scrierea la rezolutia de 1 nm, prin folosirea unui fotorezist cu efect de confinare cantica ( E. Pavel, Brevet RO130592, „Fotorezist cu sensibilizatori continind paminturi rare”, 30 august 2016 ).

## DESCRIEREA DETALIATA A INVENTIEI

Invenția, descrisa in continuare, se refera la o utilizare a materialelor cu confinare cantica pentru imbunatatirea rezolutiei camerelor digitale CMOS.

In conformitate cu invenția, materialul cu confinare cantica se plaseaza cu prioritate pe fata superioara a structurii in locul izolatiei de SiO<sub>2</sub> si a contactului electric al portilor G ale

tranzistoarelor MOSFET. Pentru senzorii BSI-CMOS, materialul cu confinare cuantica se localizeaza pe fata inferioara a senzorului.

Utilizarea materialelor cu confinare cuantica la senzorii de imagine implica 3 etape: i) scrierea cu lumina a materialului fotosensibil, ii) citirea informatiei scrise de catre un tranzistor MOSFET si iii) stergerea sarcinii parazite pentru pregatirea unei noi masuratori.

In Figura 1 se prezinta imaginea de sus unui dispozitiv de testare a materialelor cu confinare cuantica. Contactele metalice **1** care delimiteaza cele 4 FET-uri sunt dirijate prin firele **2** catre padurile **3** care colecteaza curentii generati la trecerea fasciculului laser. Deasupra zonei active **1** se depune un strat de material cu confinare cuantica. Iradierea cu un fascicul laser va crea zone cu sarcina negativa care vor controla curentii dintre electrozi. Sarcinile sunt stabile pe timp indelungat, de ordinul zilelor. Urmatoarele masuratori va necesita eliminarea sarcinilor parazite. Acest lucru se poate realiza prin aplicarea unei tensiuni pozitive pe suprafata inferioara a dispozitivului sau pe un electrod transparent (exemplu ITO) situat pe stratul cu confinare cuantica.

Circuitele de control pot fi dispuse pe ambele suprafete ale plachetei de siliciu (W.S.Boyle si G.E. Smith, US 3,796,927, „Three dimensional charge coupled devices”, Mar. 12, 1974).

Senzorii BSI-CMOS au substratul de Si subtiat, ceea ce permite introducerea unei porti suplimentare pe suprafata inferioara a senzorului. Sarcina electrica negativa indusa in materialul cu confinare cuantica determina o tensiune mare la distante mici. Astfel un singur electron in vid va crea o diferenta de potential de 1,44 mV la o distanta de 100 nm. Tensiuni de ordinul voltilor se pot realiza cu circa  $10^4$ -  $10^5$  electroni.

In Figura 2 se prezinta sectiunea unui senzor BSI-CMOS continind materiale cu confinare cuantica. Contactele metalice aferente portilor tranzistoarelor MOSFET **4** sunt asezate deasupra unui sandwich format dintr-un strat de SiO<sub>2</sub> **5**, unul de Si epitaxial **6**, Si subtiat **7**, material cu confinare cuantica si strat conductor transparent (ITO, grafena) **8**. Iluminarea senzorului se efectueaza din directia sagetilor **10**.

Domeniul de aplicare a prezentei invenții consta in realizarea de senzori de imagine CMOS bazate pe materiale cu confinare cuantica, care sa permita obtinerea unei rezolutii marite a camerelor decit cea impusa de difractia luminii.

Avantajele invenției sunt:

- rezolutie marita ( maximum ~ 1000 x )
- adaptarea accesibila a sistemului la senzorii de imagine uzuali CMOS care sa necesite

costuri reduse pentru reproiectare si productie.

Invenția prezenta este ilustrata in mod particular cu următoarul exemplu, care nu va limita însă invenția numai la acest exemplu. Descrierea elementelor favorite ale invenției are caracter exemplificator.

Conform unei variante de realizare, senzorul de imagine cu confinare cuantica este exemplificat cu o matrice liniara de detectie (CMOS), specifica aplicatiilor in spectrometrie.

### Exemplul 1

Dispozitivul utilizat la testare (Fig.1) este realizat cu tehnologia MOSFET. Reteaua de 4 FET-uri (perechile A-B, B-C, C-D, D-E) contine 5 celule cu dimensiunea de 250 nm x 50000 nm si trasee metalice de 120 nm. Colectare curentilor se efectueaza de pe 5 pad-uri cu dimensiunea de 3mm x 3mm. MOSFET-urile sunt realizate pe o placheta p-Si cu rezistivitatea de 1~10  $\Omega$ -cm. Contactele sunt plasate deasupra unor zone dopate cu fosfor. Grosimea oxidului SiO<sub>2</sub> deasupra portii G este de ~ 50 nm. Nu se depun contacte metalice deasupra portilor. Zona activa se acopera uniform cu fotorezistul QMC-5 [3] avind grosimea de 5 nm. Un fascicul laser ( $\lambda = 650$  nm, P= 500nW), iradiaza zona portilor cu viteza 4  $\mu$ /s pe directia indcata de sageata din Fig. 1. Masuratorile simultane pe cele 4 FET-uri indica o modificare a tensiunii de prag (~0.4 V) pentru fiecare tranzistor in momentul trecerii fasciculului laser peste poarta tranzistorului. Difractia luminii limiteaza diametrul fasciculului laser la ~ 900 nm. Testul a indicat faptul ca dispozitivul cu pasul dintre contacte de 250 nm permite obtinerea de semnale distincte la distante mai mici decit lungimea de unda. Intrucit camerele CCD sau CMOS au dimensiunea minima a pixelilor de circa 700 nm, utilizarea materialelor cu confinare cuantica la acest dispozitiv permite o imbunatatire a rezolutiei de circa 3 ori.

### Revendicări

1. Senzor de imagine cu confinare cuantica, caracterizat prin aceea ca are următoarele componente:

- un strat de material cu confinare cuantica depus pe o retea de celule cu tranzistoare MOSFET, in zona portile de control
- un strat de conductor transparent montat deasupra stratului de material cu confinare cuantica, utilizat pentru stergerea sarcinilor parazite

2. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este polimer.

3. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este sticla.

4. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este material cristalin.

5. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este un senzor de imagine de tip CMOS.

6. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip RAM (SRAM, DRAM, SDRAM).

7. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip EPROM.

8. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip EEPROM (flash memory, SD card, SSD(solid-state drive)).

9. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca stratul de conductor transparent montat deasupra stratului de material cu confinare cuantica este ITO.

10. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 1, caracterizata prin aceea ca stratul de conductor transparent montat deasupra stratului de material cu confinare cuantica este grafena.

11. Senzor de imagine cu confinare cuantica, **caracterizat prin aceea ca are următoarea configuratie:**

- un strat de material cu confinare cuantica depeș pe o retea de celule cu tranzistoare MOSFET, in zona portile de control; stergerea sarcinilor parazite se va efectua prin polarizarea substratului.

12. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este polimer.

13. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este sticla.

14. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este material cristalin.

15. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este un senzor de imagine de tip CMOS.

16. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip RAM (SRAM, DRAM, SDRAM).

17. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip EPROM.

18. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 11, caracterizata prin aceea ca retea de celule cu tranzistoare MOSFET este o memorie de tip EEPROM (flash memory, SD card, SSD(solid-state drive)).

19. Senzor de imagine cu confinare cuantica, **caracterizat prin aceea ca are următoarele componente:**

- un senzor de imagine de tip BSI-CMOS
- un strat de material cu confinare cuantica deasupra pe fata inferioara a senzorului, opusa fetei superioare care contine reseaua de conexiuni electrice
- un strat de conductor transparent montat sub stratul de material cu confinare cuantica, utilizat pentru stergerea sarcinilor parazite; iluminarea senzorului se va efectua dinspre fata inferioara.

20. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 19, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este polimer.

21. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 19, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este sticla.

22. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 19, caracterizata prin aceea ca stratul de material cu confinare cuantica este material cristalin.



23. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 19, caracterizata prin aceea ca stratul de conductor transparent montat sub stratul de material cu confinare cuantica este ITO.

24. Senzor de imagine cu confinare cuantica conform revendicarii 19, caracterizata prin aceea ca stratul de conductor transparent montat sub stratul de material cu confinare cuantica este grafena.

## Referințe

- [1] E. Pavel, V. Marinescu and M. Lungulescu, "Nanopatterning of monolayer graphene by quantum optical lithography ", *Appl. Opt.*, **60** (2021) 1674-1677
- [2] E. Pavel, G. Prodan, V. Marinescu and R. Trusca, "Recent advances in 3- to 10-nm quantum optical lithography ", *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS* **18**(2), 020501(2019).
- [3] E. Pavel, S. Jinga, B. S. Vasile, A. Dinescu, V. Marinescu, R. Trusca, N. Tosa, Quantum Optical Lithography from 1 nm resolution to pattern transfer on silicon wafer, *Opt Laser Technol* **60** (2014) 80-84.
- [4] E. Pavel, RO130592, „Fotorezist cu sensibilizatori continind paminturi rare”, 30 august 2016
- [5] E. Pavel, US 9,547,238, „Photoresist with rare-earth sensitizers”, Jan. 17, 2017
- [6] W. S. Boyle; G. E. Smith (April 1970). "Charge Coupled Semiconductor Devices". *Bell Syst. Tech. J.* **49** (4): 587–593.
- [7] Boyle et al., US 3,792,322, „Bured channel charge coupled devices”, Feb. 12, 1974
- [8] Boyle et al., US 3,796,927, „Three dimensional charge coupled devices”, Mar. 12, 1974
- [9] Kahng et al., US 3,651,349, „Monolithic semiconductor apparatus adapted for sequential charge transfer”, Mar. 21, 1972

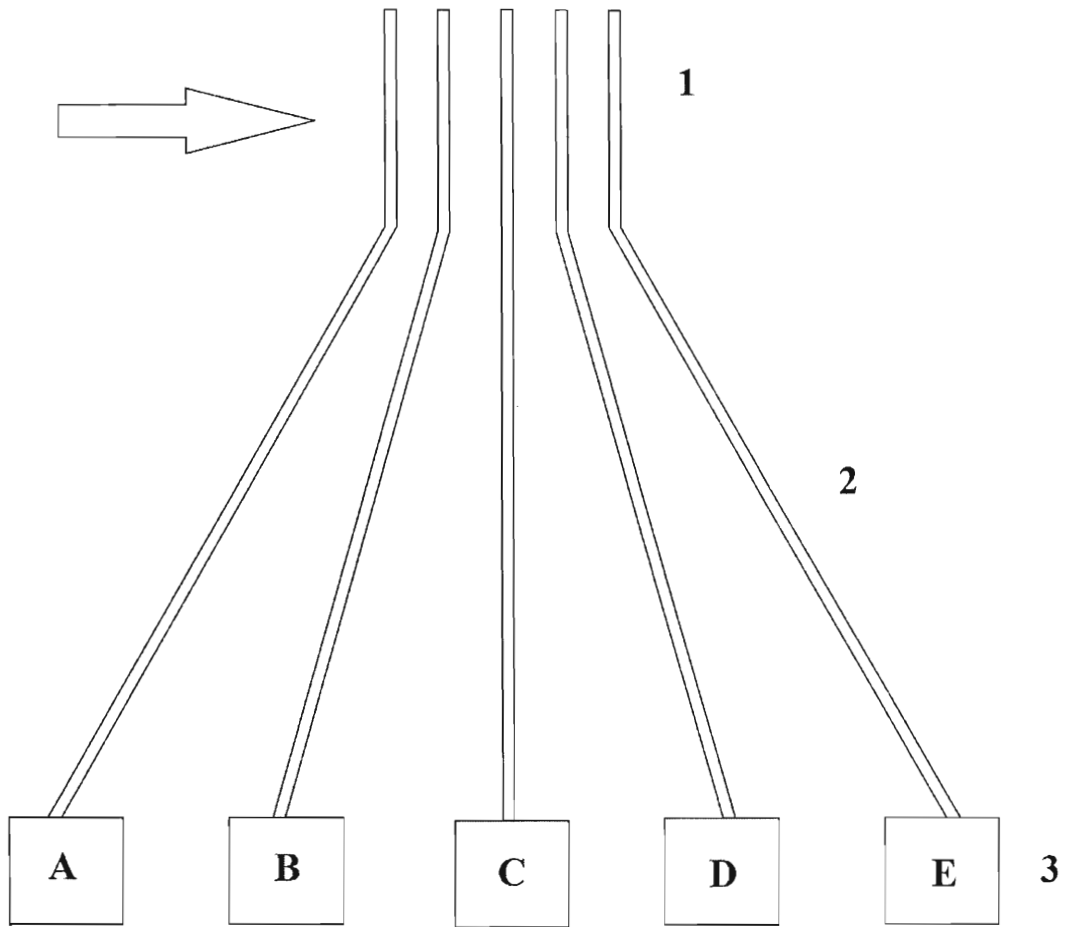


Fig. 1

24

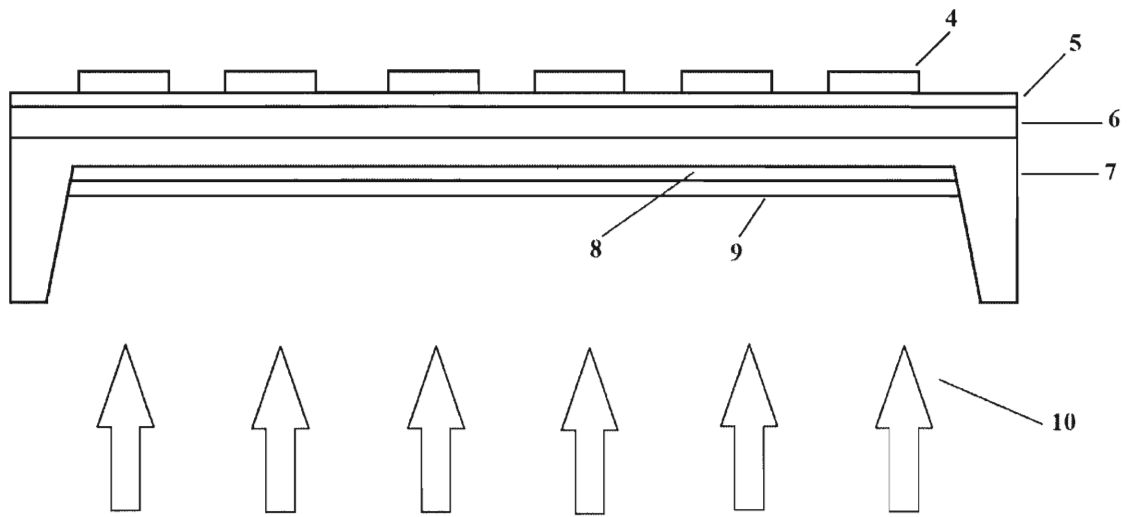


Fig. 2