

(19)



(10)

LT 4670 B

(12)

PATENTO APRAŠYMAS

(11) Patent numeris: **4670**

(51) Int.Cl.⁷: **H04N 5/32**

(21) Paraiškos numeris: **99-106**

(22) Paraiškos padavimo data: **1999 08 31**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2000 03 27**

(45) Patent paskelbimo data: **2000 06 26**

(72) Išradėjas:

Juras Požėla, LT

Karolis Požėla, LT

(73) Patent savininkas:

Juras Požėla, M. Paco g. 7-7, 2055 Vilnius, LT

Karolis Požėla, M. Dobužinskio g. 16-2, 2001 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Rentgeno spinduliuotės keitiklis į optinį signalą

(57) Referatas:

Išradimas priklauso puslaidininkių technikos sričiai, būtent puslaidininkiniams rentgeno spindulių keitikliams į optinį signalą ir gali būti panaudotas rentgeno diagnostikos aparatuose. Rentgeno spinduliuotės keitiklis į optinį signalą turi GaAs pagrindu pagamintą puslaidininkinę aktyviąją keitiklio dalį, optiškai susietą su optinio vaizdo detektoriumi. Aktyvioji keitiklio dalis yra varizoninis (turintis kintamą pagal darinio storį draudžiamos energijos juostą) $Al_xGa_{1-x}As$ darinys su tolygiai kintamu Al kiekiu pagal darinio sluoksnio storį, be to, minėtas darinys yra legiruotas Zn, kurio priemaišos darinio plokštumoje yra pasiskirsčiusios tolygiai.

Išradimas priklauso puslaidininkių technikos sričiai, būtent puslaidininkiniams Rentgeno spinduliuotės keitikliams į optinį signalą ir gali būti panaudotas Rentgeno diagnostikos aparatuose.

Yra žinomas Rentgeno spinduliuotės keitiklis, kuriame aktyvusis keitiklio elementas, keičiantis Rentgeno spinduliuotę į optinį signalą, yra Rentgeno liuminoforai ir scintiliatoriai. Rentgeno aparato ekranuose minėtais liuminoforais naudoja puslaidininkius tokius, kaip ZnS-CdS(Ag) , CaWO_4 , $\text{BaSO}_4(\text{Pb})$ ir kt., o kaip scintiliatorių kristalus naudoja NaI(Tl) , CsI(Tl) ir kt. (A.M. Гурвич, Рентгенолюминофоры и рентгеновские экраны, Москва, Энергоатомиздат, 1983, Технические средства рентгенодиагностики, Под ред. И.Ф. Переслегина, Москва, Медицина, 1981).

Dėl minėtų liuminoforų mažos vidinės energetinės kvantinės išeigos β , kuri šio tipo keitikliams yra ribose $\beta = 0,01 \div 0,18$, Rentgeno spinduliuotės keitimo į optinį signalą (šviesą) efektyvumas yra žemas, todėl Rentgeno ekranai, kuriuose naudojami žinomi keitikliai, turi žemo lygio erdvinę skiriamąją galią, t.y. žemą vaizdo ryškumą bei kontrastingumą.

Naudojant šio tipo Rentgeno spinduliuotės keitiklius medicininiuose Rentgeno diagnostikos aparatuose dažnai yra būtini aukšti Rentgeno spinduliavimo ekspozicijos lygiai, o tai sukelia pavojų paciento sveikatai, todėl šiais aparatais nėra galimybių nustatyti vėžinius ir kraujagyslių susirgimus ankstyvose jų stadijose.

Yra žinomas Rentgeno spinduliuotės keitiklis į optinį signalą, kurio aktyvusis elementas yra GaAs monokristalas (J. Požėla, V. Jucienė ir K. Požėla, "Light emitted GaAs particle detectors," Nucl. Instr. and Meth. A.V. 410, p. 11, 1998).

Rentgeno spinduliuotės keitiklis su GaAs aktyviuoju elementu, gali pasiekti vidinio energetinio kvantino išėjimo efektyvumo reikšmę $\beta = 0,4$, t.y. žymiai didesnę, negu gaunama įprastais liuminoforais ir scintiliatoriais.

Tačiau dėl stiprios generuojamos šviesos absorbcijos GaAs, šio tipo keitiklių efektyvumo ir erdvinės skiriamosios galios nepakanka, kad, naudojant jį medicininiuose Rentgeno diagnostikos aparatų ekranuose, galima būtų gauti gerą vaizdo ryškumą bei nustatyti vėžinių ir kraujagyslių susirgimų ankstyvasias stadijas, nesudarant rizikos faktoriaus žmogaus sveikatai dėl aukšto Rentgeno spinduliavimo ekspozicijos lygio.

Šiuo išradimu siekiama pagerinti Rentgeno spinduliuotės keitiklio į optinį signalą efektyvumą, pagerinti optinio vaizdo ryškumą bei kontrastingumą, praplėsti jo naudojimo galimybes.

Šio uždavinio sprendimo esmė yra ta, kad optiškai susieta su optinio vaizdo detektoriumi aktyvioji rentgeno spinduliuotės keitiklio į optinį signalą dalis, yra varizoninis (turintis kintamą pagal darinio storį draudžiamos energijos juostą)

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys su tolygiai kintamu Al_x kiekiu pagal darinio sluoksnio storį.

Al_x kiekio pasiskirstymas $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinyje pagal jo storį kinta nuo $x=0,4$ iki $x=0$, geriausiai $x=0,2$. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio sluoksnio storis yra ribose nuo $1,0 \mu\text{m}$ iki $100 \mu\text{m}$, geriausiai $20 \mu\text{m}$, nes geriausiai užtikrina Rentgeno spinduliuotės su energija $E_x = 5 \div 50 \text{keV}$ aukštą detekcijos efektyvumą.

Kintama (didėjanti) Al koncentracija pagal darinio storį padidina uždraustos zonos energiją. Kadangi liuminescencinio kvanto energija pagal dydį yra artima uždraustos zonos pločiui, dėl to kristale susidaro plačiazoninis langas šviesos kvantams išeiti iš puslaidininkinio darinio (Fig.2). To pasekoje žymiai pagerėja Rentgeno spinduliuotės keitimo į optinį signalą (šviesą) efektyvumas.

Rentgeno spinduliuotės, sugeriamos $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ sluoksnyje, pavertimo šviesa efektyvumas $K = \beta\eta$, kur

β - rekombinuojančių elektronų - skylių porų sukūrimo efektyvumas (energetinė kvantinė išeiga),

η - šviesos emisijos efektyvumas.

Parametrą β charakterizuoja elektroninių skylių porų spindulinis rekombinavimas paveikus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ sluoksnį rentgeno spinduliais.

$$\beta(E_x) = \frac{N_{pn} \cdot h\nu}{N_x \cdot E_x},$$

kur $N_{pn} \cdot h\nu$ yra energija, kurią išskiria rekombinuojančios elektronų - skylių poros, N_{pn} yra sukurtų porų skaičius ir $h\nu$ jų energija, išskiriama per rekombinaciją; $N_x \cdot E_x$ yra Rentgeno spindulių absorbuotų AlGaAs sluoksnyje energija, N_x yra absorbuotų Rentgeno fotonų skaičius su energija E_x .

Elektronų - skylių porų generuojamų Rentgeno spindulių su energija E_x skaičius N_{pn} yra lygus

$$N_{pn} = \frac{N_x \cdot E_x}{E_t},$$

kur E_t yra slenkstinė energija, reikalinga sukurti elektronų - skylių porai. Gauname, kad

$$\beta = \frac{h\nu}{E_t}$$

GaAs kristaluose $E_t \approx 4 \text{eV}$. Liuminoforuose ir scintiliatoriuose ši slenkstinė energija žymiai didesnė $E_t = 10 \div 10^2 \text{eV}$. Būtent šis faktorius mažina Rentgeno spinduliuotės konversijos į šviesą efektyvumą palyginus su GaAs dariniais.

Rentgeno spinduliuotės sukurtos elektroninės skylių poros rekombinuoja kaip spinduliuojančios arba nespinduliuojančios. Dalis sukurtų elektronų - skylių porų rekombinuoja su šviesos emisija. Ši dalis yra lygi

$$\eta = \frac{1}{1 + \tau_r / \tau_{nr}},$$

kur τ_r ir τ_{nr} yra spinduliuojančios ir nespinduliuojančios rekombinacijos gyvavimo laikai.

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys yra legiruotas Zn. Zn koncentracija $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinyje yra ribose nuo $0,5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ iki $7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, geriausiai $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Zn priemaišos darinio plokštumoje yra pasiskirsčiusios tolygiai.

Varizoninio $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio legiravimas Zn su tolygiu Zn priemaišų pasiskirstymu darinio plokštumoje leidžia žymiai sumažinti τ_{nr} , tuo pačiu pakelti ir pagerinti optinio vaizdo ryškumą bei kontrastingumą, o naudojant pasiūlytą keitiklį Rentgeno diagnostikos aparatuose galima nustatyti vėžinius ir kraujagyslių susirgimus ankstyvuose jų stadijose prie sveikatai nepavojingų Rentgeno spinduliavimo ekspozicijos lygių.

Optinio vaizdo detektoriumi esantys graduotas Si detektorius arba detektorių pikselių matrica (CCD kamera), optiškai susieti su $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ kristalo išėjimo plokštuma leidžia optiniam ryšiui panaudoti šviesolaidžius arba optinius elementus, tokius kaip prizmės, kurie įgalina minėtus detektorius išdėstyti už Rentgeno spinduliuotės zonos, kas pagerina keitiklio patikimumą bei jo ilgaamžiškumą.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig.1 - Rentgeno spinduliuotės keitiklio bendras scheminis vaizdas;

Fig.2 - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio uždraustos zonos energijos E_g priklausomybė nuo Al koncentracijos pagal darinio sluoksnio storį;

Fig.3 - Rentgeno spinduliuotės keitiklio su šviesolaidžiu ir Si detektoriumi scheminis vaizdas;

Fig.4 - Rentgeno spinduliuotės keitiklio su CCD kamera ir kompiuteriu scheminis vaizdas;

Fig.5 - Si detektoriaus srovės I_D priklausomybės nuo Rentgeno vamzdžio anodo srovės I_A grafikas;

Fig.6 - Rentgeno spindulių energijos priklausomybės nuo ekspozicijos laiko grafikas.

Rentgeno spinduliuotės keitiklis, keičiantis Rentgeno spindulius X į optinį signalą $h\nu$ (šviesą) (Fig.1), turi aktyviąją keitiklio dalį 1, kuri šviesos signalo perdavimo sistema 3 optiškai susieta su optinio vaizdo detektoriumi 2. Aktyvioji keitiklio dalis 1 pasiūlytame išradime yra varizoninis (turintis kintamą pagal darinio storį draudžiamos energijos juostą) $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys su tolygiai kintamu Al_x kiekiu pagal kristalo sluoksnio storį. Rentgeno spinduliuotės keitiklio į optinį signalą aktyvioji dalis, t.y. puslaidininkinis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys gaunamas skystos epitaksijos metodu. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio sluoksnio

storis yra apie 20μ . Viena iš keitiklio realizavimo pavyzdžių, parodytą Fig.3, optinio vaizdo detektorius yra Si fotodiodas 2, kurio įėjimas šviesolaidžiu 3 optiškai sujungtas su aktyviosios keitiklio dalies 1 išėjimu. Si detektoriaus prijungimas šviesolaidžiu prie $Al_xGa_{1-x}As$ kristalo išėjimo plokštumos leidžia Si detektorius išdėstyti ne Rentgeno spinduliuotės zonoje.

Kitame keitiklio realizavimo pavyzdyje, parodytame Fig.4, optinio vaizdo detektorius yra CCD kamera 2, kurios įėjimo langas per optinę sistemą 3 optiškai susietas su aktyviosios keitiklio dalies 1 išėjimu, o minėtos kameros išėjimas sujungtas su kompiuteriu 4.

Šviesos išėjimo iš $Al_xGa_{1-x}As$ sluoksnio efektyvumas priklauso nuo optinės sistemos 3. Rezultatai, gauti atliekant bandymus su Si detektoriumi (Fig.3), pavaizduoti Fig. 5. Si detektoriaus srovės I_D atsakas tiesiškai priklauso nuo Rentgeno spinduliuotės intensyvumo, kuris yra proporcingas Rentgeno vamzdžio anodo srovei I_D . Šviesos signalą registruojant CCD kamera (santykiniais vienetais) gauta tokia pati Rentgeno spinduliuotės energijos tiesinė priklausomybė nuo ekspozicijos laiko (Fig. 6). Abiem atvejais $Al_xGa_{1-x}As$ sluoksnis buvo patalpintas 20 cm atstumu nuo Rentgeno vamzdžio (brėžinyje neparodytas) varinio anodo. Rentgeno vamzdžio anodo srovė ir įtampa registruojant signalą CCD kamera buvo $I_A=20$ mA ir $V_A=30$ kV.

Pažymėtina, kad naudojant $Al_xGa_{1-x}As$ detektorius Rentgeno spinduliuotės dozės dalis, kurią gauna pacientas, yra mažesnė palyginus su dozėmis įprastiniuose Rentgeno diagnostikos aparatuose norint gauti tokios pat kokybės Rentgenoliuminescencinį vaizdą. Todėl siūlomame keitiklyje padidinus Rentgeno spinduliuotės dozę iki leistinos dozės (dar nepavojingos paciento sveikatai) žymiai pagerėja vaizdo ryškumas, bei kontrastingumas.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Rentgeno spinduliuotės keitiklis į optinį signalą, turintis GaAs pagrindu pagamintą puslaidininkinę aktyviąją keitiklio dalį, susietą su optinio vaizdo detektoriumi, besiskiriantis tuo, kad aktyvioji keitiklio dalis optiškai susieta su optinio vaizdo detektoriumi yra varizoninis (kintamos draudžiamos energijos) $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys su tolygiai kintamu Al_x kiekiu pagal darinio sluoksnio storį.
2. Keitiklis pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad Al_x kiekio pasiskirstymas $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinyje pagal jo storį kinta nuo $x=0,4$ iki $x=0$, geriausiai $x=0,2$.
3. Keitiklis pagal 1 - 2 punktus, besiskiriantis tuo, kad $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinys yra legiruotas Zn.
4. Keitiklis pagal 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad Zn koncentracija $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinyje yra ribose nuo $0,5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ iki $7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, geriausiai $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.
5. Keitiklis pagal 3 - 4 punktus, besiskiriantis tuo, kad Zn priemaišos darinio plokštumoje yra pasiskirsčiusios tolygiai.
6. Keitiklis pagal 1 - 5 punktus, besiskiriantis tuo, kad $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio sluoksnio storis yra ribose nuo $10 \text{ }\mu\text{m}$ iki $100 \text{ }\mu\text{m}$ geriausiai $20 \text{ }\mu\text{m}$.
7. Keitiklis pagal 1 - 6 punktus, besiskiriantis tuo, kad optinio vaizdo detektorius yra graduotas Si detektorius, optiškai sujungtas su $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio išėjimo plokštuma.
8. Keitiklis pagal 1 - 6 punktus, besiskiriantis tuo, kad optinio vaizdo detektorius yra detektorių pikselių matrica (CCD kamera), optiškai susieta su $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ darinio išėjimo plokštuma.

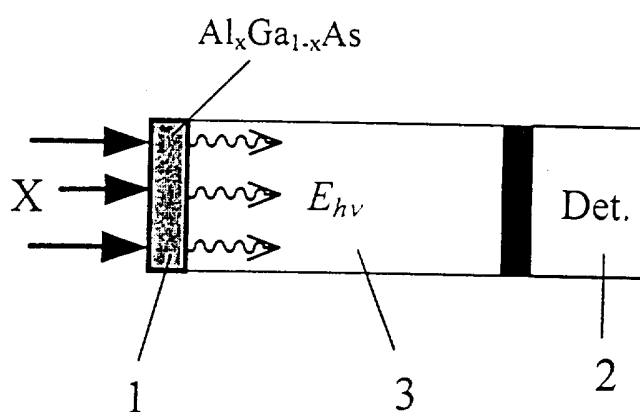


Fig. 1.

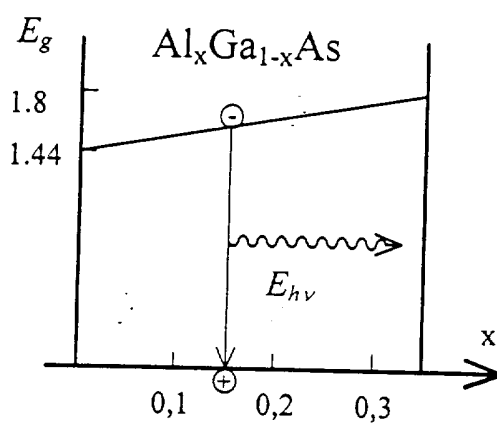


Fig. 2.

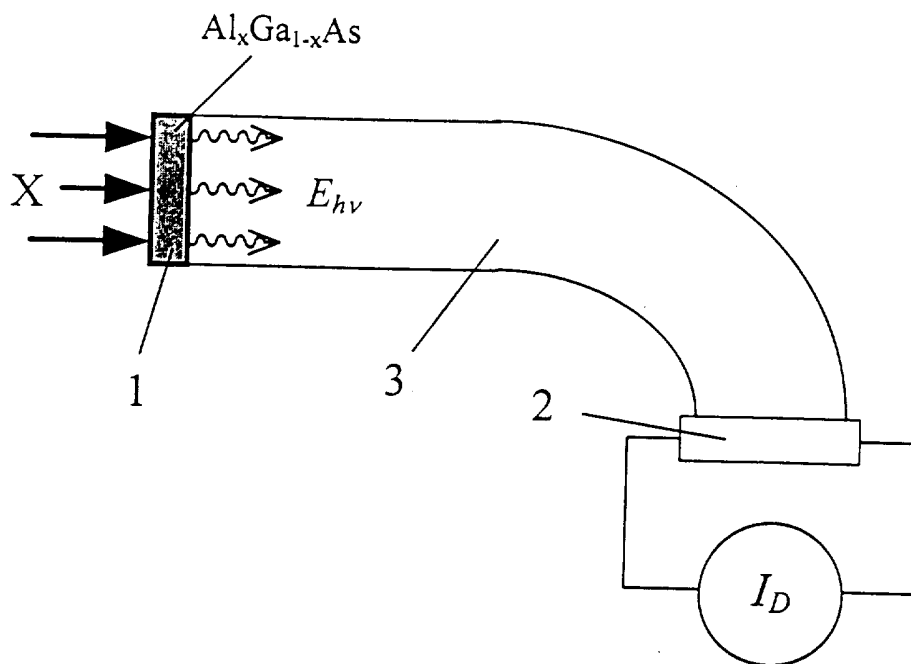


Fig. 3.

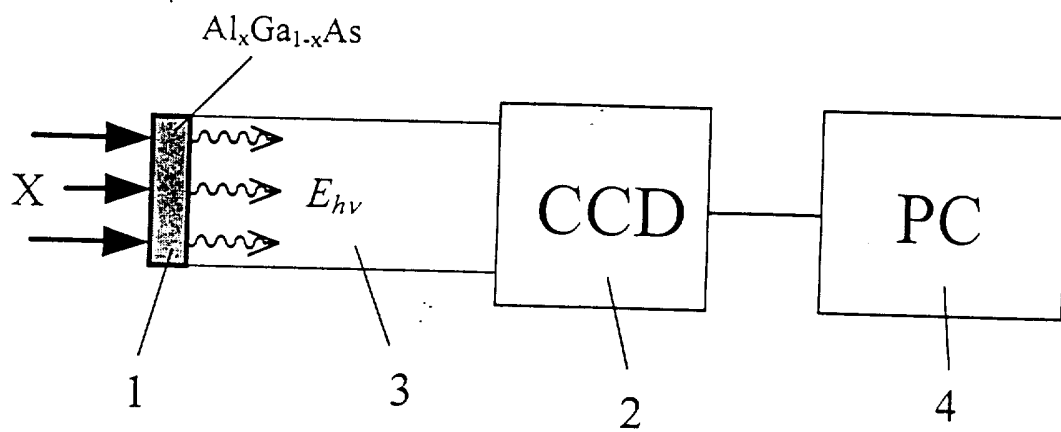


Fig. 4.

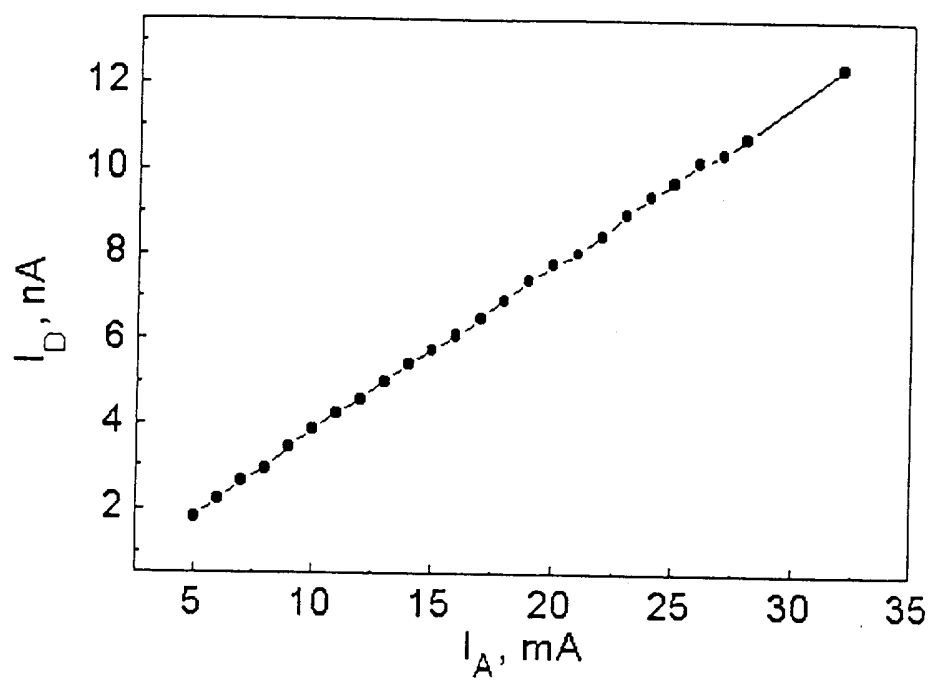


Fig. 5.

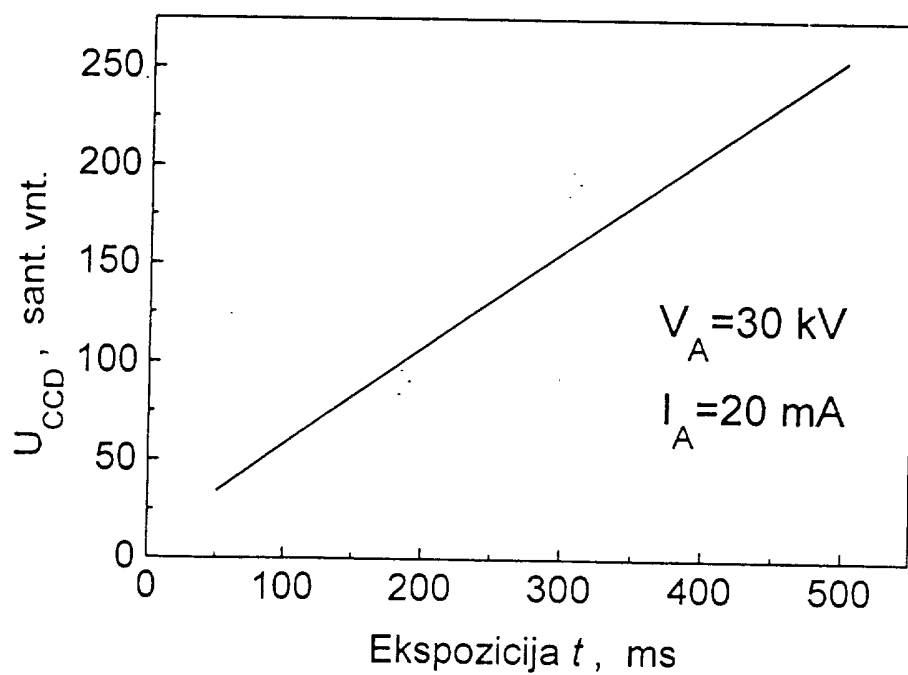


Fig. 6.