### ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2015. Հ. LXVIII, N 1.

## *Հ*\$Դ 621.315:621.382

# ԳԻՏԱԿԱՆ ՍԱՐՔԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ ՉԱՓՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

## L.Հ. ՍՈՒՔՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, S.Վ. ՎԱԴՈՒՆՑ

# ՖԵՐՈԷԼԵԿՏՐԻԿ-ՕՔՍԻԴ-ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ԸՍՏ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ՄՈԴՈՒԼԱՑՎԱԾ ԼՈՒՍԱՑԻՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ

Տեսականորեն հետազոտվել են ունակային սկզբունքով աշխատող ֆերոէլեկտրիկ – օքսիդ - կիսահաղորդիչ կառուցվածքի ֆոտոզգայնության մեխանիզմներն ու ընթացող օպտիկաֆիզիկական երևույթներն ըստ ինտենսիվության / հաճախականության մոդուլացված լույսի ազդման դեպքում։ Հիմնավորվել է ըստ ինտենսիվության/հաճախականության մոդուլացված լուսային ճառագայթի միջոցով տարբեր մեմբրաններից ստացված համապատասխան ֆոտո-արձագանքների գրանցման, տարանջատման ու մշակման հնարավորությունը։

**Առանցքային բառեր.** ֆերոէլեկտրիկ, մոդուլացված լույս, կիսահաղորդիչ, ՄՕԿ կառուցվածք։

**Ներածություն։** Լուսահասցեավորվող պոտենցիամետրական տվիչները (ԼՊՏ, [1]) «լաբորատորիա չիպի վրա» սկզբունքի իրականացման առաջին քալլերն են, որոնք հնարավորություն են տալիս միևնույն հիմքով (մատրիցում) միավորել կենսաբժշկական տարբեր անալիտների նկատմամբ զգայնություն ցուցաբերող բազմաթիվ տարրեր, կառուցվածքներ և, այնուհետև, ըստ ինտենսիվության կամ ըստ հաձախականության մոդուլացված լուսային Ճառագայթի միջոցով այդ տարբեր թաղանթներից ստացված համապատասխան ֆոտոարձագանքների գրանցման, տարանջատման ու մշակման միջոցով որոշել այս կամ այն անալիտի առկայությունը, պարամետրերը, խտությունը և այլն։ Նշված ԼՊՏ- երը գտնվում են նախնական լաբորատոր հետազոտման փուլում և կարիք ունեն ինչպես տեսական, այնպես էլ փորձարարական հետազոտման, ինչը հատուկ է ցանկացած նոր գիտական բնագավառի։ Մյուս կողմից, շնորհիվ իրենց մի շարք առավելությունների՝ բազմաֆունկցիոնալ հատկությունների դրսևորման, բարձր քիմիական և կատալիտիկ ակտիվության, ֆերոէլեկտրկական զգայուն թաղանթներով տվիչները կենսաբժշկական բնագավառում օգտագործման տեսակետից նոր և խոստումնալից սարքեր են, որոնք կարող են հիմք հանդիսանալ «լաբորատորիա մեկ չիպի վրա» տեխնոլոգիայի զարգացման համար [1-5]։

Աշխատանքում տեսականորեն հետազոտվել են երկու մեմբրաններ պարունակող ֆերոէլեկտրիկ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքի ունակության և ֆոտոէլեկտրական բնութագրերն ըստ հաձախության մոդուլացված լուսային ազդանշանի կիրառման ռեժիմում։ Stuuųuu unptip u hyuuųuu unuųni unuųni prisista prisista



Նկ. 1. Երկմեմբրանային ԼՊՏ-ի լայնական կտրվածքը

Ընդունենք, որ թ–Տi հարթակի (կամ փականի) կողմից բյուրեղի վրա ընկնում է ըստ ինտենսիվության մոդուլացված օպտիկական Ճառագայթ (ազդանշան),



Նկ. 2. Երկմեմբրանային ԼՊՏ-ի համարժեք սխեման

прикц  $\Phi_o$ - и рицип  $\Delta$ шлицијер հлир (наприкејши) ницимили гицицир) и иницир  $\Delta_o = \frac{P_{opl}(1-R)}{h\nu} [1-e^{-\alpha d_o}], P_{opt}$ -р' рицип оциницици наприкејпци ( $4m/m^2$ ), R-р' шицицици апрожицер, S- р' шицимици напцијицици цирциор  $\lambda$  -р' шицицици апрожицер, S- р' шицимици  $\Delta_1$ -р' рицип  $\Delta_2$ ишицици цирциор  $\lambda_1$ -р' и иницици  $\lambda_2$ -и с' рицици,  $\Phi_1$ -р' рицип  $\Delta_2$ -ри ашуер ницер финистич,  $\lambda_2$ -и с' рицицици  $\Phi_1$ -р' рицип  $\Delta_2$ -ри априка и иницици и гирцицир,  $\omega = 2\pi f$ - р' рицици и иницици и иприка и иницици и гирцицир, t-и  $\Delta_2$ -ри априка и иницицици и сицици сици  $\Delta_2$ -ри и состоя и с

$$\begin{split} \left| \widetilde{l}_{m} \right| &= \left| \widetilde{l} \right| \cdot \frac{\theta_{ox}}{\left[ I + \left( \theta_{ox} + \theta_{scL} \right)^{2} \right]} \cdot \sqrt{\left( \theta_{ox} + \theta_{scL} \right)^{2} + I} , \\ \left| \widetilde{l}_{ph} \right| &= \frac{2qd_{o}}{\varepsilon_{s}} \frac{P_{opt}(1 - R)\theta}{hv\sqrt{1 + \theta^{2}}} \cdot \left[ 1 - e^{-\alpha d_{o}} \right] \cdot \left[ \left| C_{scL}(t) \right| + \frac{\varepsilon_{s}\sqrt{2}}{L_{o}} \right], \end{split}$$

npտեղ  $d_o$ -ն լույսի բացակայության ռեժիմում աղքատացած շերտի հաստությունն է, α -ն՝ կլանման գործակիցը,  $\theta = 2\pi f \tau, \tau$ -ն՝ ֆոտո-լիցքակիրների կյանքի տևողությունը,  $L_D \equiv \sqrt{\frac{kT\varepsilon_s}{q^2 p_p^2}} \equiv \sqrt{\frac{\varepsilon_s}{qp_p\beta}}$ -ն՝ Դեբայի էկրանավորման երկարությունը,  $\beta = \frac{q}{kT}$ , q-ն՝ էլեկտրոնի տարրական լիցքը,  $\psi'_s$ -ը՝ կիսահաղորդիչ-օքսիդ մակերևութային պոտենցիալի փոփոխական բաղադրիչը,  $\varepsilon_s$ -ը՝ կիսահաղորդչի դիէլեկտրական թափանցելիությունը,  $C_{sct}$ -ը՝ լուսային ազդանշանի առկայության դեպքում կիսահաղորդչի աղքատացած շերտի ունակությունը,  $\theta_{ox} = \omega C_{ox}R_s$ ,  $\theta_{sct} = \omega C_{sct} \cdot R_{sc}$ ,  $R_s$ -ը

և  $R_{
m sc}$ -ը, համապատասխանաբար, հարթակի և աղքատացած տիրույթի ակտիվ դիմադրությունները լուսային ազդանշանի բացակայության ռեժիմում։ Հաշվարկները կատարվել են պարամետրերի հետևյալ համախմբերի համար.  $Na 
ightarrow (1...100) \cdot 10^{14} ud^3$ , f մոդուլման հաձախականությունը՝ 1...10000 կՀց, ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողությունը՝  $\tau_0 \rightarrow 10^{-6} ... 10^{-9} \, q$ , լուսային հոսքի  $\Phi_I$ - մակերևութային խտությունը՝  $\Phi_1 \rightarrow 10^{10} \dots 10^{12}$  *ֆոտոն/սմ*<sup>2</sup>, լուսային հոսքի (ինտենսիվության) մոդուլման օրենքը՝ sin-ալ, օքսիդային շերտի հաստությունը՝  $t_{ox} \rightarrow (30...150)$  նմ, փականի լարումը՝  $V_{_{g}} \rightarrow (0..5)$  ч, шղршտшдшծ 2 сримр 2 п. симля  $R_{sc}$  դришарпырушир`  $\sim$  5 UOhd, օքսիդի շերտի շունտող  $R_s$  դիմադրությանը՝ ~ 10 *UOhd*,  $\varepsilon_{si}$  ~ 11,8,  $\varepsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-14}$ *5/սմ*։ Հաշվարկներում անտեսվել են Հելմհոլցի կրկնակի շերտի ունակությունը, Ref. էլեկտրոդի և հարթակի չեզոք մասի դիմադրությունները, չափիչ սարքի և սնման աղբյուրի ներքին դիմադրությունը և այլն։ Նկ. 3-5-ում պատկերված են արտաքին շղթայում չափվող փոփոխական  $\widetilde{i_m}$  հոսանքի կախվածությունները լուսային ազդանշանի մողուլման f հաձախությունից, լիցքակիրների կյանքի au տևողությունից, փականին կիրառված  $V_{g}$ լարումից, օքսիդային շերտ<br/>ի $t_{ox}$ հաստությունից, լույսի հոսքի  $arPhi_o$  -ինտենսիվությունից, կլանման lpha գործակցից, հարթակի լեգիրման Na աստիձանից և այլն։

Ինչպես և սպասվում էր, լուսային հոսքի ինտենսիվության աձը հանգեցնում է աղքատացած շերտի ունակության աձման (աղքատացած շերտի հաստության նվազման)։ Ինչպես հետևում է կիսահաղորդչային ֆիզիկայի ընդհանուր դրույթներից, մակերևութային պոտենցիալի, աղքատացած շերտի նվազման, աղքատացած շերտի ունակության փոփոխությունները պետք է նկատվեն լուսային ազդանշանի և ֆոտոգեներացված լիցքակիրների կյանքի տևողության որոշակի հարաբերակցության պայմաններում։ Եթե լուսային ազդանշանի մոդուլման հաձախականությունը շատ փոքր է ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողության հակադարձ մեծությունից  $\mathbf{f} \leq \frac{1}{\tau}$ , ապա ֆոտոլիցքակիրներն այդ ժամանակահատվածում կհասցնեն ռե-

կոմբինացվել և չեն կարող հետևել "լուսային" ազդանշանի փոփոխությանը։

Դա նշանակում է, որ գոյություն ունի լուսային ազդանշանի և ֆոտոգեներացված լիցքակիրների կյանքի տևողության որոշակի հարաբերակցություն, որի դեպքում կարող է նկատվել մակերևութային պոտենցիալի և աղքատացած շերտի ունակության ժամանակային փոփոխություն։



 Up. 3. Upmuphu 2ηթայում չափվող im \$nunhnuwuph luuhunidp luuhunidp luuhu f

 huu suhunipjni uhg Φ<sub>0</sub> mupphp hnuphp η huppni (Na =10x10<sup>15</sup> ut<sup>3</sup>, tox =50 ut, Vg =14, τ=10<sup>7</sup> l,

 Rs=5 UOhu, Rsc=10 UOhu,  $\alpha = 10^4$ ut<sup>1</sup>)



Ul. 4. Upmuphu 2ηթայում չափվող im ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի մոդուլման ք հաճախությունից լիցքակիրների կյանքի τ տևողության տարբեր արժեքների դեպքում (Na =10x10<sup>15</sup> ud<sup>-3</sup>, tox=50 lul, Vg =1 Ҷ, Φo=2.5 · 10<sup>13</sup> ֆոտոն/ud<sup>2</sup>, Rs=5 UOhd, Rsc=10 UOhd,  $\alpha$ = 10<sup>4</sup> ud<sup>-1</sup>)

Այս կախվածությունները հստակ երևում են նկ. 3 և 4-ից։ Ընդ որում, մակերևութային պոտենցիալի և աղքատացած շերտի ունակության "հագեցումը" պայմանավորված է լուսային ազդանշանի ինտենսիվության և ֆոտոլիցքակիրների կյանքի տևողության փոխհարաբերակցությունից։ Ինչպես և ունակությունների դեպքում, արտաքին չափվող հոսանքը սկսում է փոփոխվել միայն լուսային ազդանշանի ինտենսիվության մոդուլման և լիցքակիրների կյանքի տևողության խիստ որոշակի հարաբերակցության արժեքից սկսած (նկ. 4):  $\Phi_0$ -ի (լուսային հոսքերի) մեծ արժեքների դեպքում  $i_m$ -ը հասնում է հագեցման, և միաժամանակ նեղանում է f հաձախականային տիրույթը, որտեղ ձևավորվում է ֆոտոհոսանք և, հետևաբար, արտաքին չափվող  $\dot{i}_m$ -հոսանքը։ Որքան մեծ է լիցքակիրների կյանքի տևողությունը, այնքան փոքր հաձախությունների դեպքում են տեղի ունենում աղքատացած շերտի ունակության մոդուլման երևույթները։



Ul. 5. Upտաքին շղթայում չափվող i<sub>m</sub> ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի Φ<sub>o</sub> hnuքից (ֆոտոն/սu<sup>2</sup>վ) [hgpակիրների կյանքի τ տևողության տարբեր արժեքների դեպքում (Na =10x10<sup>15</sup> ut<sup>3</sup>, tox =50 lut, Vg =1 Ҷ, f =10 կ2g, Rs=5 UOhd, Rsc=10 UOhd,  $\alpha$ = 10<sup>4</sup> ut<sup>1</sup>)

Ինչպես երևում է նկ.6-ից, հարթակի լեգիրման Na աստիձանի աձը հանգեցնում է ունակության աձման և արտաքին շղթայում հոսանքի նվազման։ Դա առաջին հերթին պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ լեգիրման աձը հանգեցնում է աղքատացած շերտի ունակության (աղքատացած շերտի հաստության նվազման) մեծացման և այդ ֆոնի վրա փոփոխական ունակության նվազման՝ ունակության հաստատուն բաղադրիչի նկատմամբ և, որպես հետևանք, ֆոտոհոսանքի և արտաքին շղթայում չափվող հոսանքի նվազման։



Ul. 6. Upտաքին շղթայում չափվող im ֆոտոհոսանքի կախումը լույսի Φ<sub>0</sub> հոսքից (ֆոտոն/սմ<sup>2</sup>վ) p-Si հարթակի լեգիրման տարբեր Na խտությունների, լիցքակիրների կյանքի տևողության տարբեր արժեքների դեպքում ( $\tau = 10^7$  վ, t<sub>ox</sub>=50 նմ, Vg = 1 Վ, f=10 կՀg, Rs=5 UOhd, Rsc=10 UOhd,  $\alpha = 10^4$  ud<sup>1</sup>)

Եզրակացություն։ Կիսահաղորդչային մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ ունակության՝ աղքատացման ռեժիմում ընթացող էլեկտրաֆիզիկական երևույթների խորացման և վերլուծության արդյունքում տեսականորեն կապ է հաստատվել մետաղ –ֆերոէլեկտրիկ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ կառուցվածքի՝ որպես ԼՊՏ-ի հիմնական բաղադրիչի պարամետրերի, մասնավորապես, կառուցվածքի ունակության փոփոխման մեխանիզմի և մոդուլացված լույսի հաձախականության և ինտենսիվության միջև, որն այնուհետև հաստատվել է համակարգչային և ֆիզիկական փորձնական հետազոտությունների միջոցով (կներկայացվի այլ հոդվածներում)։

Հետազոտության արդյունքները կնպաստեն բազմաֆունկցիոնալ, նոր տեսակի սարքերի նախագծմանը և մշակմանը, ինչը հնարավորություն կտա կիսահաղորդչային մեկ բյուրեղի ծավալում կամ մակերևույթում ինտեգրված բազմաթիվ մեմբրանների (զգայուն նանոթաղանթների) միջոցով կատարել տարբեր նյութերի առկայության և կոնցենտրացիայի ստուգում։ Մշակված սարքերը կարող են կիրառվել ոչ միայն կենսաբժշկության, սննդի, դեղագործության, գյուղատնտեսության բնագավառներում, այլն բիոքիմիական տարբեր հետազոտություններում։

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ ԳՊҰ-ի կողմից տրամադրվող ֆինանսական աջակցության շնորհիվ՝ № SCS 14A-2g47 գիտական թեմայի շրջանակներում:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- Hafeman D.G., Parce J.W. and McConnel H.M. Light-addressable potentiometric sensor for biochemical systems // Science. – 1998. - Vol. 240 (4856). - P. 1182-1185.
- Bousse L., Mostarshed S., and Hafeman D. Investigation of carrier transport through silicon wafers by photocurrent measurements // J. Appl. Phys. – 1994. - Vol. 75 (8). - P. 4000-4008.
- Minority carrier diffusion length effects on light-addressable potentiometric sensor (LAPS) devices / M. Sartore, M. Adami, C. Nicolini, et al // Sens. Actuator A. – 1992. – Vol. 32. - P. 431-436.
- Portable light addressable potentiometric sensor (LAPS) for multisensory applications / T. Yoshinobu, M.J. Schöning, R. Otto, et al // Sensors and Actuators B. - 2003. - Vol. 95. - P. 352-356.
- Բունիաթյան Վ.Վ., Սուքոյան Լ.Հ., Դաշտոյան Հ.Ռ. Լուսահասցեունակ կենսաբժշկական տվիչների հետազոտումը // ՀՊՃՀ ԼՐԱԲԵՐ. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու. - 2012. - Մաս 1. - Էջ 381-385:
- 6. Sze S.M. Physicts of Semiconductor Devices. 3rd ed. Wiley Inter science, 2006. 898 p.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան։ Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.09.2014։

#### Л.А. Сукоян, В.В. Буниатян, Т.В. Вадунц

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРОЭЛЕКТРИК-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК СТРУКТУР ПРИ РЕЖИМЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ СВЕТОВОГО ЛУЧА

Теоретически исследована фоточувствительность ферроэлектрик-оксид-полупроводник структур, работающих по емкостному принципу под воздействием модулированного по частоте/интенсивности светового луча. Обоснована возможность регистрации, разделения и обработки сигнала, полученного при помощи модулированного светового луча из разных мембран.

*Ключевые слова:* ферроэлектрик, модулированный свет, полупроводник, МОП структура.

### L.H. SUKOYAN, V.V. BUNIATYAN, T.V. VADUNC

## THE FERROELECTRIC-OXIDE-SEMICONDUCTOR STRUCTURE CHARACTERISTICS AT THE FREQUENCY MODULATION LIGHT SIGNAL MODE

The photosensitivity of the ferroelectric-oxide-semiconductor structures operating by the capacitive principle under the influence of the frequency intensity of modulated light beam is theoretically investigated. The possibility of registrating, separating and processing the signal obtained from different membranes with the help of modulated light beam is substantiated.

Keywords: ferroelectric, modulated light, semiconductor, MOS structure.