

**ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ, ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ ԵՎ
ՆԱՆՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ**

ՀՏԴ 621. 382

Օ.Ա. ԶԱԴՈՅԱՆ, Լ.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա.Մ. ԶԱԴՈՅԱՆ

**ԳՐԱՖԵՆԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՄԵՏԱՂ-ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿ-ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ (ՄԴԿ)
ՏՐԱՆՁԻՍՏՈՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ**

Գրաֆենի հիման վրա կարճ հոսքուղային մետաղ-դիէլեկտրիկ-կիսահաղորդիչ (ՄԴԿ) տրանզիստորի կառուցվածք ստանալու նպատակով հետազոտվել է երկու ճառագայթների ինտերֆերենցիոն լիտոգրաֆիայի միջոցով նանոչափային ակոսների ստացման, դրանցում այլումինի ներդրման, մակերևույթում այլումինի օքսիդի ստացման, գրաֆենի և եզրերում ոսկյա ելուստների ձևավորման միջոցով ՄԴԿ տրանզիստորների ստացման հնարավորությունը, տարբեր գործոններից հոսքուղու երկարության կախվածությունները:

Առանցքային բառեր. գրաֆեն, սիլիցիումե հարթակ, այլումինե փական, ենթափականային այլումինի երկօքսիդային դիէլեկտրիկ, ոսկյա ելուստներ:

Ներածություն: Հայտնի են գրաֆենային շերտերի ստացման բազմաթիվ մշակված տեխնոլոգիաներ, որոնց արդյունքում ստացված գրաֆենային շերտերը կարող են ցուցաբերել տարբեր, մասնավորապես՝ կիսահաղորդչային հատկություններ: Հաշվի առնելով ինտեգրալ սխեմաներում փոքրաչափ, արագագործ, տեխնոլոգիապես հեշտ իրագործելի ՄԴԿ տրանզիստորների ստացման կարևորությունը՝ արդիական խնդիր է այնպիսի ՄԴԿ տրանզիստորների ստացումը, որոնցում գրաֆենը կձառայի որպես հոսքուղի: ՄԴԿ տրանզիստորի ստացումը կլինի առավել արդյունավետ, եթե վերջինիս փականը լինի այլումինից, որի մակերևույթին հեշտությամբ աճեցրած այլումինի օքսիդը (Al_2O_3) կձառայի որպես ենթափականային դիէլեկտրիկ նյութ:

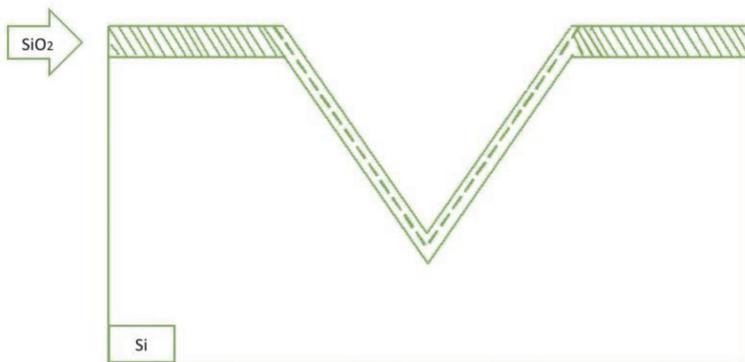
Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Մշակված բազմատեսակ ՄԴԿ տրանզիստորներն ունեն տարբեր կառուցվածքներ, տեխնոլոգիական լուծումներ, պարամետրեր [1-3]: Ուստի նոր կառուցվածքների և տեխնոլոգիական լուծումների կիրառությունները պայմանավորված են նոր հատկությամբ նյութերի, տեխնոլոգիական նոր լուծումներով: Ելնելով նշվածից՝ խնդիր է դրվել ներկայացնել այնպիսի ՄԴԿ տրանզիստորի կառուցվածքը, որի համար որպես հոսքուղային տիրույթ կձառայի կիսահաղորդչային հատկությամբ օժտված գրաֆենային շերտը, որպես փականի նյութ՝ այլումինը, ենթափականային դիէլեկտրիկ՝ այլումինի օքսիդը (Al_2O_3), իսկ որպես ակունքի և արտաբերի ելուստներ՝ նուրբ ոսկյա շերտերը:

Ստորև բերված է գրաֆենի հիման վրա ՄԴԿ տրանզիստորի ստացման տեխնոլոգիական հաջորդականությունը: Որպես հարթակ ընտրվում է առանց խառնուրդների Si-ի միաբյուրեղը՝ պայմանավորված SiO₂-ի ստացման հեշտությամբ և SiO₂-ի հատկություններով: Նախ՝ հարթակի մակերևույթը ենթարկվում է միաչափ ակոսների ստացման՝ նանոհիմարինտինգի հետ համատեղված, ինտերֆերենցիոն լիտոգրաֆիայի միջոցով երկու ճառագայթների վերադրմամբ [4, 5]:

Ստացվող ակոսների պարբերությունը տրվում է ճառագայթման ալիքի λ երկարության, անկման θ անկյան և ընկնող ճառագայթների միջև անկման φ հարաբերակցությամբ, իսկ այդ կախվածությունը՝ հետևյալ արտահայտությամբ.

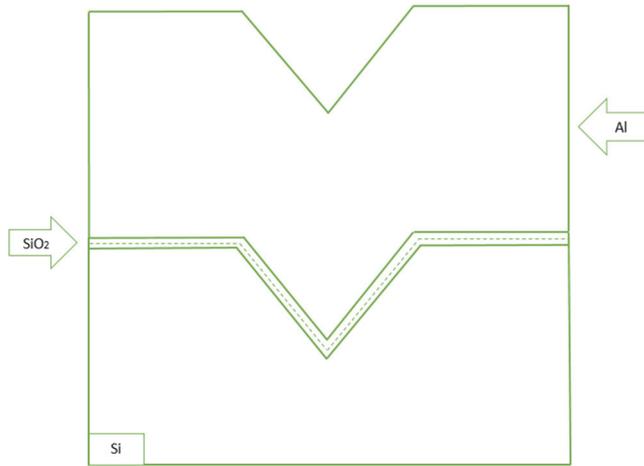
$$A2 = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin\theta}, \text{ երբ } \varphi = \pi:$$

Ակոսների ստացումից հետո տեղի է ունենում մաքուր թթվածնի պայմաններում ջերմային օքսիդացում, որն ապահովում է ծակոտիներից զերծ, մեծ խտությամբ SiO₂-ի շերտի ստացումը 0.1...0.2 մկմ հաստության սահմաններում (նկ.1):



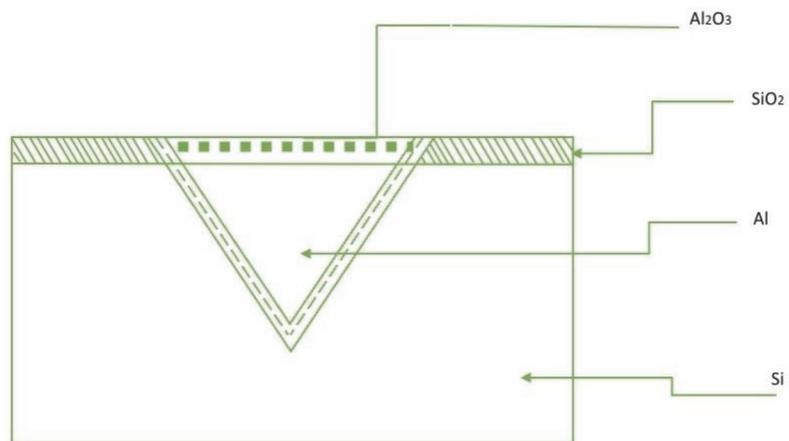
Նկ. 1. Սիլիցիումի երկօքսիդի ստացումը սիլիցիումի մակերևույթին և ակոսներում

Դրանից հետո նստեցվում է ակոսի խորությունը գերազանցող հաստությամբ ալյումինի շերտ այնպես, որ ալյումինի ակոսի ստորին մակարդակը ավելի բարձր լինի մակերևույթային սիլիցիումի երկօքսիդի շերտի մակարդակից, որպեսզի ալյումինի հղկումից հետո ակոսներն ամբողջությամբ լցված լինեն ալյումինով (նկ.2):



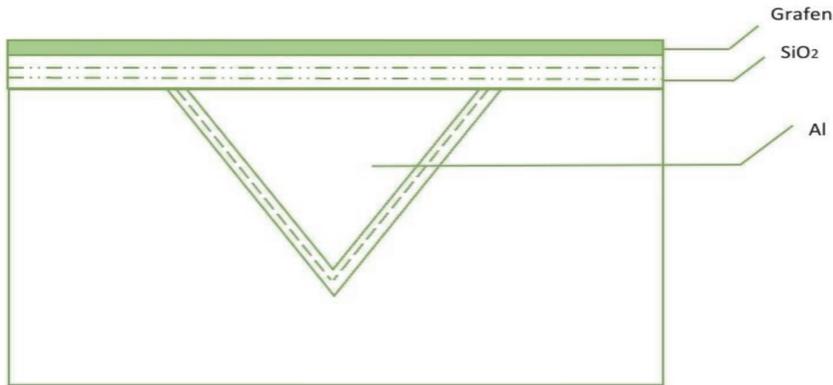
Նկ. 2. Հարթակի կտրվածքը ալյումինի շերտի նստեցումից հետո

Այնուհետև մակերևույթը հղկվում է այնքան, մինչև ալյումինի մակերևույթը համընկնի սիլիցիումի երկօքսիդի շերտի մակերևույթին, որից հետո, ամբողջ մակերևույթը փայլեցնելով, ալյումինի մակերևույթը պատվում է օքսիդի շերտով: Այդ գործընթացը կարող է տեղի ունենալ նաև սենյակային ջերմաստիճանում և օդի պայմաններում, սակայն, քանի որ ստացված օքսիդի շերտը պետք է զերծ լինի ծակոտիներից, ուստի գործընթացն իրականացվում է թթվածնի միջավայրում, 90... 100 °C, 10ր տևողությամբ, որի արդյունքում կձևավորվի մոտավորապես 20նմ հաստությամբ ալյումինի օքսիդի (Al_2O_3) շերտ, որը հնարավորինս զերծ կլինի ծակոտիներից և կձառայի որպես ենթափականային շերտ (նկ.3):



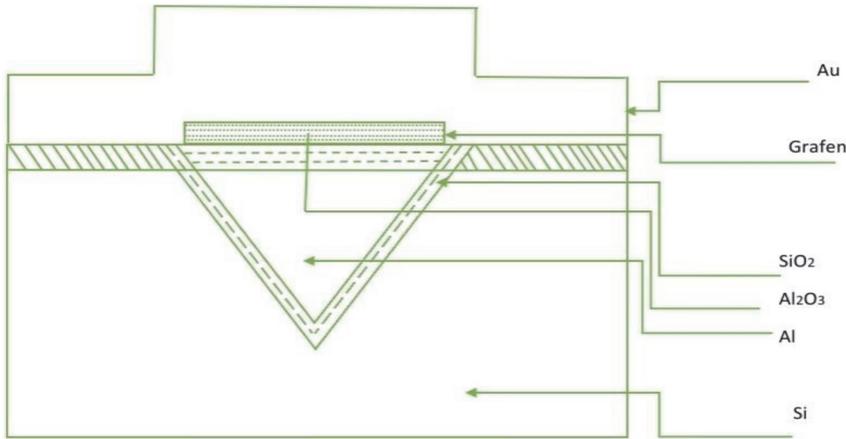
Նկ. 3. Հարթակի կտրվածքը ալյումինի հղկումից և մակերևույթում ալյումինի օքսիդի սրացումից հետո

Դրանից հետո մակերևույթին նստեցվում է գրաֆենային շերտ այնպես, որ այն ունենա կիսահաղորդչային հատկություն, այսինքն՝ նրանում հնարավոր լինի էլեկտրական դաշտի միջոցով գեներացնել ազատ լիցքակիրներ (էլեկտրոններ): Այդ գրաֆենային շերտը կարող է ստացվել գազային վիճակից՝ քիմիական նստեցման, մակերևույթային տրորման կամ այլ եղանակով (նկ.4):



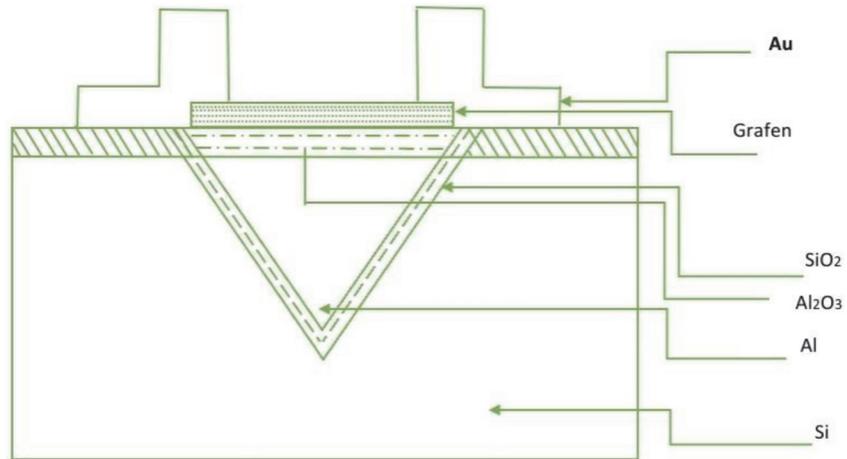
Նկ. 4. Հարթակի կտրվածքը գրաֆենի շերտի նստեցումից հետո

Այնուհետև ռենտգենյան լիտոգրաֆիայով գրաֆենը թողնվում է միայն փականային տեղամասում, և մակերևույթին նստեցվում է ոսկյա շերտ (նկ.5):



Նկ. 5. Հարթակի կտրվածքը ոսկյա շերտի նստեցումից հետո

Վերջին փուլում լիտոգրաֆիայի գործընթացից հետո ելուստային տեղամասերում թողնվում են ոսկյա շերտերը, որոնք էլ կձառայեն որպես ակունք և արտաբեր (նկ.6):



Նկ. 6. Հարթակի կտրվածքը ակունքի և արտաբերի ստացումից հետո

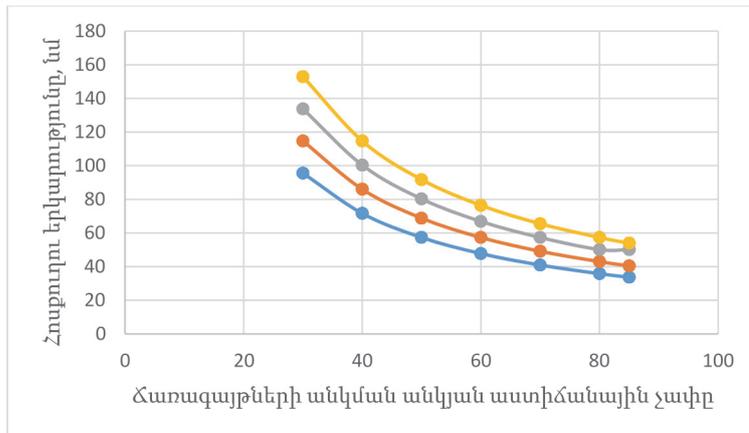
Ստացվող տրանզիստորը կլինի n-հոսքուղային: Երբ այլումինե փականին և արտաբերին տրվեն ակունքի նկատմամբ դրական պոտենցիալ, այդ դեպքում դեպի գրաֆենի ստորին մակերևույթ կձգվեն էլեկտրոնները, և կառաջանա n-հաղորդականությամբ հոսքուղի, և արտաբերից ակունք ուղղությամբ կանցնի հոսանք: Փականի զրոյական պոտենցիալի տրման դեպքում գրաֆենում ազատ էլեկտրոններ չեն առաջանա, և արտաբերից ակունք անցնող հոսանքը կլինի զգալիորեն փոքր, որը համարժեք է տրանզիստորի փակ լինելուն:

Հետազոտության արդյունքները: Գրաֆենի հիման վրա կարճ հոսքուղային ՄԴԿ տրանզիստորի կառուցվածքում հոսքուղու երկարությունը համընկնում է ակոսի լայնությանը, ուստի նաև՝ ակոսների հեռավորության հետ: Այսինքն՝ հոսքուղու երկարությունը հավասար կլինի ակոսների պարբերության կեսին՝

$$L = \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \theta}, \text{ երբ } \varphi = \pi:$$

Ուտրամանուշակագույն ճառագայթների դեպքում, երբ $\lambda \approx 100$ նմ, կախված θ -ի արժեքից, հոսքուղու երկարությունը կլինի մոտավորապես 30 նմ, իսկ ավելի կարճ ալիքների օգտագործման դեպքում հոսքուղու երկարությունը կարող է ավելի փոքր լինել:

Ստորև (նկ.7) բերված են $A2 = f(\theta)$ կախվածությունները և ալիքի տարբեր λ երկարությունների դեպքում, որը հիմք կհանդիսանա ալիքի նախապես հայտնի երկարության դեպքում ընտրելու ճառագայթման պարամետրերը:



Նկ. 7. Հոսքուղու երկարության կախվածությունն ընկնող ճառագայթների աստիճանային արժեքից ալիքի տարբեր երկարությունների դեպքում

Եզրակացություն: Գրաֆենի հիման վրա կարճ հոսքուղային ՄԴԿ տրանզիստորի կառուցվածքը և տեխնոլոգիական հաջորդականությունը կարող են կիրառվել վերջիններիս պատրաստման գործընթացում, իսկ ուսումնասիրված կախվածությունները, ելնելով կառուցվածքում կիրառվող է երկու ճառագայթների ինտերֆերենցիոն լիտոգրաֆիայի միջոցով նանոչափային ակոսների ստացման անհրաժեշտությունից, կարող են օգտագործվել ՄԴԿ տրանզիստորի օպտիմալ չափերը և հետագա ֆոտոլիտոգրաֆիայի գործընթացի պարամետրերը որոշելիս:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Deepa R., Devi M.P., Vignesh N.A., and Kanithan S.** Implementation and performance evaluation of ferroelectric negative capacitance FET//Silicon.-2022.-Vol. 14, no. 5.- P. 2409–2419.
2. Multiple-Vt solutions in nanosheet technology for high performance and low power applications /**R. Bao, K. Watanabe, J. Zhang, et al** // 2019 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM). - December 2019.- P. 11.2.1-11.2.4.
3. 35.1 an octa-core 2.8/2GHz dual-gear sensor-assisted high-speed and power-efficient CPU in 7nm FinFET 5G smartphone SoC /**B.J. Huang, E.J.-W.Fang, S. S.-Y. Hsueh, et al** // 2021 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC).- 2021.-P. 490–492.
4. Нанотехнологии в электронике /Под редакцией **Ю.А. Чаплыгина**.-М.: Техно-сфера, 2005.-448с. ISBN 5-94836-059-8
5. **Զաղոյան Ա.Մ.** Գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների տեխնոլոգիա: Ռիսումնական ձեռնարկ /Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան (Պոլիտեխնիկ).- Երևան, 2011. -145 էջ:

Օ.Ա. ЗАДОЯН, Л.А. АРУТЮНЯН, А.М. ЗАДОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ МДП (МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК) ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

С целью получения структуры короткоканального МДП транзистора на основе графена исследованы возможность получения наноразмерных канавок методом двухлучевой интерференционной литографии, введения в них алюминия, формирования на поверхности оксида алюминия, нанесения графена и образования золотых выступов по краям, зависимости длины канала от различных факторов.

Ключевые слова: графен, кремниевая подложка, алюминиевый затвор, подзатворный диэлектрик оксида алюминия, золотые выступы.

Օ.Ա. ZADOYAN, L.A. HARUTUNYAN, A.M. ZADOYAN

STUDYING THE PRODUCTION OF GRAPHENE-BASED MDS (METAL-DIELECTRIC-SEMICONDUCTOR) TRANSISTOR

In order to obtain the structure of a short channel MDS transistor based on graphene, the possibility of obtaining nanoscale grooves by means of two-beam interference lithography, the introduction of aluminum into them, the formation of aluminum oxide on the surface, the formation of graphene and the formation of gold protrusions on the edges, the possibility of obtaining MDS transistors, the dependence of the length of channel of the grooves on various factors is investigated.

Keywords: graphene, silicon substrate, aluminum gate, subgate aluminum dioxide dielectric, gold outputs.

ՀՏԴ 004.8:621.3.049.77

Ա.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ա.Մ. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ

ԽԱՌԸ ԱԶԴԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԻՆԵՄԱՆԵՐՈՒՄ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ ԱՐՇԵՍԱԿԱՆ ԲԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաներում առաջ են գալիս մի շարք խնդիրներ, որոնք կապված են լինում տարրերի տեղաբաշխման հետ: Այս խնդիրները լուծելու համար էլեկտրոնային ավտոմատացված նախագծման գործիքներում մշակված են մի շարք ալգորիթմներ, որոնց կիրառումը կարող է հանգեցնել խնդիրների, և լուծման համար կարող է անհրաժեշտ լինել նախագծման ցիկլի կրկնություն: Աշխատանքում ներկայացված ալգորիթմի միջոցով հնարավոր է ստանալ կարգավորումների ցանկ, ինչը չի հանգեցնի նախագծման ցիկլի կրկնության:

Առանցքային բառեր. տեղաբաշխում, որոշումների ծառ, լարման անկում, ժամանակային պարամետրեր:

Ներածություն: Մուրի օրենքն ունի ակյունաքարային նշանակություն գերմեծ ինտեգրալ սխեմաների նախագծման ոլորտում: Ըստ այդ օրենքի՝ ինտեգրալ