

Mikroelektroninis krūvio keitiklis

S. Sakalauskas, R. Pūras

Magistrų ir daktarų mokslų darbai, Vilniaus universitetas
Sakalauskas S., Pūras R., *LI-1022, Vilnius, tel. +370 5 2366029; el. paštas sstantavlas.sakalauskas@ff.vu.lt*

Ivadas

Kuriant puslaidininkinis arimojo ultravioleto šviesos šaltinius, ilgalaikės veikos jonizuojančiojo spinduliavimo detektorius ir kitas netradicines paskirties prietaisus, būtina naudoti naujas medžiagas ir, be abejoj, labai gerai išmanyti jų fizines savybes bei mokėti jas valdyti. Pastarųjų reikalavimų skaije būti ir medžiagų paviršinės savybės, nes dėl realių puslaidininkinių monokristalų kristalines gardeles defektai bei dėl medžiagos paviršiaus sugėrta atomų susidaro paviršiniai lygumynai, galintys atlikti donoro, akceptorinį, elektronų ir skylių rekombinacijos ar prilipimo centų vaidmenį, tuo iš esmės keisdami jų paviršiaus fizines savybes. Daug informacijos apie tiriamųjų medžiagų paviršines savybes gali duoti jų elektronų išlavinimo darbo vertės. Nors žinomi įvairūs išlavinimo darbo matavimo būdai, tačiau daugelis atvejų pirmenybė teikiama talpinam, elektrostatinio įkūlėjimo dėsiu paremtam būdu, ty Kelvino būdu. Šis būdas pasižymi dideliu universalumu, užtikrina didelių matavimo tikslumą ir, svarbiausia, yra nesudėtingas [1].

Pastarąjį matavimo medžiagos paviršinės savybės tirti plačiai naudojami tuneliniai ir atominės jėgos mikroskopai (skemuojamoji Kelvino jutikliai) [2, 3]. Jų erdvinė skiriamoji geba siekia 0,1 nm, tačiau praktikoje dažnai pakanka matavimo būdų, užtikrinančių skiriamąją gebą nuo 1 μm iki 0,1 μm, o šioms tikslams gali būti naudojamas jau tapęs klasikinio talpinio Kelvino būdas.

Šio darbo tikslas – apatari talpinio keitiklio, kurio erdvinė skiriamoji geba siekia mikrometro dalis, sąryšius ir pateikti pirmąsias eksperimentinius rezultatus.

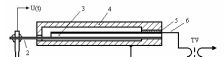
Keitiklio virpanis mikroelektrodas

Ankstesnieji darbai, pvz. [4], rodo, kad keitiklio erdvinę skiriamąją gebą faktiškai lemia virpančio elektrodų viršūnėlių skersmuo, nes, elektrosiūlį virpani, jo formų sienelių ir tiriamojo kūno talpos komponentė išlieka beveik nekintanti. Siekiant užtikrinti erdvinės skiriamosios gebos, virpančiojo elektrodų viršūnėlių skersmuo turėtų būti apie kelis šimtus nanometrų ar mažesnis. Techniškai sudėtinga tokio skersmens ritinėms ar jam artimos formos mikroelektrodų neapnoma.

* Moksliniai literatūriniai nėra griežtai normuoti skiriamosios gebos termino apibrėžimai. Šiame straipsnyje vartojama sąvoka reiškia minimalus tiriamojo kūno paviršiaus plotelis, sąvokąje nurodant su talpinu matavimo elektrodu, skeremę (tariant, kad šis plotelis yra skritulio formos).

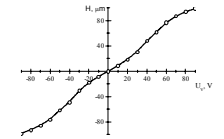
tiriamąjį paviršius, ah – mikroelektrodų virpanimo amplitudė. Taigi virpanimo amplitudė ah ir atstumas h gali siekti dešimtis ar šimtus nanometrų.

Turint omeny realių puslaidininkinių bandinių paviršių geometriją, matavimų metu virpančiojo mikroelektrodų viršūnėles, išlankytą pastoviu atstumu h, turi siekti paviršiaus lygulei, ty turi būti numatoma galimybė mikroelektrodą perstumti (jo virpanimo kryptimi). Šiam tikslui mikrometrisni sąryšius su žingsniniu varikliu jau neteks, todėl reikia naudoti specialias konstrukcijas virpiklių sudaryt iš fosforinės bronzos plokštelių, suklijuotas su metalizavta pjekoceraminė bario titanato plokštelė. Talpinio keitiklio su tokio tipo virpikliu fragmentas parodytas 2 pav. Pjekoceraminės plokštelės



2 pav. Talpinio keitiklio fragmentas. 1–virpančiasis matavimo elektrodas, 2–bronzinė plokštelė, 3–metalizavta pjekoceramika, 4–ekranas, 5–zolinė izoliacinė plokštelė, 6–žadinimo kontaktas, 7–epoksidinis derva

ilgis (iki įvirinimo vietos) buvo 11 mm, o bronzinės – 15 mm. Tokių matmenų virpiklį, prijungtas prie keičiamos vertės nuolatinės įtampos šaltinio U₁, perstumia mikroelektrodą iki H=100 μm (3 pav.).

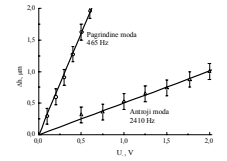


3 pav. Virpiklio viršūnės poslinkio priklausomybė nuo prijungtos įtampos

Matome, kad poslinkio H priklausomybė nuo U₁ netiesinė, tačiau svarbu, kad elektriniai signalai lankstant virpiklio viršūnę mikroelektrodų virpanimo amplitudė ir (virpanimo, ar antrosios modų) pakinta nedaug, o nuo žadinančiojo signalo U₁ amplitudės priklauso tiesiškai (4 pav.).

Eksperimentiniai keitiklio tyrimai

Mikroelektroninį keitiklį, kaip atskrą mazgą, sudaro talpinis keitiklis su virpančiojo mikroelektrodu ir



4 pav. Mikroelektrodų virpanimo amplitudės priklausomybė nuo žadinančiojo signalo amplitudės

iškatinis įtampos U₁ (2 pav.) kartotavas su bekorpusiu lauko tranzistoriumi. Mikroelektrodų formavimo procesas, nors ir paprastas, tačiau reikalauja daug įgūdžių ir nera apsaugotas nuo atsitiktinumų, todėl beveik neapnoma gauti rezultato pakartoti. Geriausi mūsų mikroelektrodų pavyzdžiai turėjo beveik kėginios formos viršūnes, kurių kampas neviršijo 15°. Viršūnėles suspausinamas truputį panašėjo į pastūla, todėl kalbėti apie jo skersmenį nevisiškai korektiška, tačiau norint bent apytiksliai žinoti jo dydį (gros buvo (400–600) nm), tenkų daryti tokias prielaidas.

Erdvinė skiriamąją gebą įvertinti būtina turėti darini su žinomos formos potencialiniu reliefu. Mes šiam tikslui panaudojome pramoninio metalo ir puslaidininkio sandorio lauko tranzistoriaus metalizacijos santakos ir šilkos kontaktų aikštelės, tarp kurių buvo minimalus (2,2x0,1) μm atstumas. Išmatuota paviršinio potencialo pasiskirstymo priklausomybė nuo koordinačių leidžia teigti, kad erdvinė skiriamoji geba yra geresnė negu 1,0 μm, tačiau tikslėsiųjų apbrėžiminių padaryti negalime, nes tam reikia darinių, kur tas atstumas būtų kelis kartus mažesnis.

Į grįžtamąjį ryšio grandinę įjungė tiksliai žinomą vertę nuolatinės įtampos šaltinį ir žinimą įėjimo įtampos vertės, nustatome keitiklio ribinį jautrį, kuris buvo 5–6 mV, kai sinchroninio detektoriaus žemo dažnio filtro laiko pastovioji buvo 1 s. Dalinė įtampos kartotavo priklausomybė įėjimo talpos komponentai [7] padidino talpinio keitiklio perdavimo koeficiento vertę ir ribinį jautrį, kuris šiuo stadijo siekė 2 mV (matavimų paklaida neviršijo ±0,1 mV).

Ivadas

Pirminiai eksperimentiniai mikroelektroninio keitiklio, sudaryto iš talpinio matavimo mikroelektrodų, jo virpanimo ir perstumimo pjekoceraminės ir metalinės

plokščių darinio bei bekorpusių mikroelektroninių įtaisų tyrimai leidžia daryti tokias išvadas:

- pasiekta talpinio keitiklio erdvinė skiriamoji geba geresnė nei 1 μm (šis parametras galima gerinti tik automatizavus mikroelektrodų elektrocheminio išdimo ir poliravimo procesą);
- ribinis įtampos jautris siekė 2 mV;
- jautriai didinti būtina optimizuoti kompensuotos įėjimo talpos ištakimo kartotuvo veiką.

Literatūra

1. Baumgärtner H., Lies H.D. Micro Kelvin probe for local work-function measurements // *Rev. Sci. Instrum.* 1988. – Vol. 59, No 5. – P. 802–805.
2. Stephens R.S., Schaff D.M., Yu E.T., Molnar R.J. Scanning Kelvin probe microscopy of surface electronic structure in GaN grown by lateral vapor phase epitaxy // *J. Appl. Phys.* 2002. – Vol. 91, No 12. – P. 9924–9929.

Pateikta spauda 2003 11 25

S. Sakalauskas, R. Pūras. Mikroelektroninis krūvio keitiklis // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 2(51). – P. 49–51.

Greis žinai puslaidininkinių medžiagų fizines savybes ir sugebant jas kryptingai valdyti galima gaminti geros kokybės puslaidininkinius įtaisus. Prie šių sąrybių priklaiktos ir medžiagų paviršines savybes, kurių analizei ir kontrolei naudojami įvairūs metodai. Pastarųjų metu medžiagų paviršių kontrolėi plačiai taikomi tuneliniai ir atominės jėgos mikroskopai, kurių erdvinė skiriamoji geba siekia 0,1 nm ar mažiau. Praktikoje tokios skiriamosios gebos reikia ne visada, kartais pakikyti ir 0,1 μm, todėl liam tiksliai galima taikyti talpinį Kelvino metodą. Šis darbas ir skirtas talpinio keitiklio erdvinės skiriamosios gebos analizei. Parodyta, kad šiam tikslui pasiekti būtina sumuoti virpančiojo elektrodų viršūnėles skeremę iki 0,1 μm ar mažiau, kai jo atstumas iki tiriamojo paviršiaus bus dar kelis kartus mažesnis, be to suformuotas mikroelektrodas visada bus kėginio formos, todėl jo viršūnės kampą reikia sumazinti bent iki 10°–15°. Maža mikroelektrodų virpanimo amplitudė riboja keitiklio ribinį jautrį. Panaudojus dalinę komponentą talpos kompensacijai, ribinį jautrį galima padidinti apie tris kartus. H. 4, bibl. 7 (iš anglų kalbos; santrauktos lenkiškai, anglų ir rusų k.).

S. Sakalauskas, R. Pūras. Microelectronic Charge Converter // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 2(51). – P. 49–51.

True knowledge of semiconductor physical properties and ability purposeful possess them make a conditions for fabrication semiconductor devices good quality. Materials surface properties are attributable to this properties. Various methods are used for analysis and control materials surface properties. Recently tunnel and atomic force microscope with spatial resolution of 0.1 nm or less are applied for analysis and control of surface properties. In practice such spatial resolution is not necessary always. Sometimes it is sufficient 0.1 μm resolution and capacitive Kelvin method is possible to apply for this intention. Analysis of capacitive converter's spatial resolution is presented in the paper. The tip diameter of vibrating electrode must be reduced to 0.1 μm or less for such spatial resolution and the distance between tip and studying surface will be smaller by several times. The configuration of produced microelectrode always is cone, that's the tip angle must be reduced to 10°–15°. Small microelectrode vibration amplitude limits converter's voltage sensitivity. It is possible to improve converter's voltage sensitivity by factor of 3 using partial compensation of parasitic capacity. H. 4, bibl. 7 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

С. Сакалаускас, Р. Пукас. Микроэлектронный преобразователь заряда // *Электроника и электротехника*. – Каунас: Технологія, 2004. – № 2(51). – С. 49–51.

Корректное знание физических свойств полупроводниковых материалов и умение ими целенаправленно управлять делает условия для производства качественных микроэлектронных приборов. К этим свойствам принадлежат и поверхностные свойства материалов, для анализа и контроля которых используются разные методы. В последнее время для контроля поверхности материалов широко применяются туннельные микроскопы и микроскопы атомной силы, пространственная разрешающая способность которых достигает 0,1 нм и меньше. На практике такая разрешающая способность нужна не всегда, иногда бывает достаточно 0,1 μm. Таким образом для этой цели можно применять емкостной метод Кельвина. Настоящая работа посвящена анализу пространственной разрешающей способности емкостного преобразователя. В работе показано, что для достижения такой разрешающей способности необходимо уменьшить диаметр вершины вибрирующего электрода до 0,1 μm или меньше, когда расстояние его до исследуемой поверхности будет в несколько раз меньше. К тому же, сформированный электрод будет конусной формы, потому надо уменьшить угол его вершины до 10°–15°. Малая амплитуда вибрации микроэлектрода ограничивает предельную чувствительность преобразователя по напряжению. Применяя частичную компенсацию паразитной емкости предельную чувствительность по напряжению можно увеличить около 3 раз. Из 4, библи. 7 (на английском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10980