UDK: 537.311.33; 621.382

YUPQA PARDALAR TENZOQARSHILIGIGA TA’SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI

To‘xtasinov Oybekjon Abduvahob o‘g‘li
Farg‘ona davlat universiteti tayanch doktaranti

Annotatsiya

Ushbu ilmiy tezisda yupqa pardalar tenzoqarshiligiga ta’sir etuvchi asosiy omillar sistemali ravishda tahlil qilingan. Tenzoqarshilik - mexanik deformatsiya ta’sirida materialning elektr qarshiligining o‘zgarish xususiyati bo‘lib, u zamonaviy sensor texnologiyalarida muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotda metall, yarim o‘tkazgich va ko‘p qatlamli kompozit yupqa pardalarning tenzoqarshilik xossalari solishtirma tahlil qilingan. Material tarkibi, qatlam qalinligi, substrat tabiati, termik ishlov berish parametrlari va hosil bo‘lish texnologiyasining elektr xossalarga ta'siri ko‘rsatilgan. Tenzoqarshilik koeffitsienti (TQK) qiymatlariga ta'sir etuvchi fizik-kimyoviy mexanizmlar - don chegaralari sochilishi, tunel o‘tkazuvchanlik, pezoelektrik effekt - batafsil yoritilgan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, NiCr va Pt asosidagi yupqa pardalar yuqori chiziqlilik va barqarorlikni ta'minlasa, kremniy asosidagi yarim o‘tkazgich pardalar ancha katta TQK qiymatlarini beradi. Olingan natijalar kuchlanish, bosim va harorat sensorlarini loyihalashda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: yupqa parda, tenzoqarshilik, tenzoqarshilik koeffitsienti, yarim o‘tkazgich, metall parda, don tuzilishi, tunel o‘tkazuvchanlik, vakuum cho‘ktirish, substrat, sensor.

KIRISH

Yupqa pardalar fizikasi va texnologiyasi zamonaviy mikroelektronika, sensorika va materialshunoslikning yetakchi yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi [1, 2]. Yupqa pardalar asosida yaratilgan tenzodatchiklar avtomobil sanoati, tibbiyot diagnostikasi, haviokosmik muhandislik va robotika kabi sohalarda keng qo‘llanilmoqda. Ushbu sohada tenzoqarshilik effekti - materialga mexanik kuch ta'sir etganda uning elektr qarshiligining o‘zgarishi hodisasi - amaliy jihatdan alohida qiziqish uyg‘otadi [3].

Yupqa pardalarda tenzoqarshilik xossalari massiv holatkagi materiallardan sifat jihatidan farq qiladi, chunki pardaning mikrotuzilishi, yuzaki sochilish jarayonlari va don-don chegaralaridagi o‘zaro ta'sirlar elektr o‘tkazuvchanlikni tubdan o‘zgartiradi [4]. Shu sababli, yupqa parda tenzoqarshiligiga ta'sir etuvchi omillarni chuqur tushunish nafaqat fundamental fizika nuqtai nazaridan, balki amaliy sensor ishlanmalari uchun ham zarurdir [5, 6].

Ushbu tadqiqotning maqsadi metall va yarim o‘tkazgich yupqa pardalarda tenzoqarshilik hodisasining fizik asoslarini tizimli bayon etish va bu xossaga ta'sir qiluvchi texnologik hamda strukturaviy omillarni tahlil qilishdan iborat.

ASOSIY QISM

1. Tenzoqarshilik koeffitsienti va uning fizik ma’nosi

Tenzoqarshilik koeffitsienti (TQK yoki inglizcha GF - Gauge Factor) quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$GF = (\Delta R/R) / \varepsilon = (\Delta R/R) / (\Delta L/L)$$

(1-formula)

bu yerda: **ΔR** - qarshilik o‘zgarishi, **R** - boshlang‘ich qarshilik, **ε** - deformatsiya (strain), **ΔL/L** - nisbiy uzunlik o‘zgarishi. Metall pardalar uchun GF odatda 2–5 oralig‘ida, yarim o‘tkazgich pardalar uchun esa 50–200 va undan yuqori qiymatlarga erishilishi mumkin. Bu farq asosiy ikki mexanizm - geometrik va pьezorezistiv - nisbati bilan tushuntiriladi.

Geometrik mexanizm deformatsiya vaqtida o‘tkazgichning uzunligi va kesim yuzasining o‘zgarishi bilan bog‘liq. Pьezorezistiv mexanizm esa zaryad tashuvchilarning solishtirma qarshiligining mexanik zo‘riqish ta'sirida o‘zgarishini ifodalaydi. Yarim o‘tkazgichlarda pьezorezistiv hissa geometrik hissadan bir necha o‘n marta oshib ketishi sababli TQK qiymatlari ancha yuqori bo‘ladi.

2. Material tarkibi va kristall tuzilishining ta’siri

Yupqa pardaning elementar tarkibi va fazoviy tuzilishi tenzoqarshilik xossalarini belgilovchi birinchi darajali omil hisoblanadi. Mis, oltin va kumush kabi yumshoq metallardan hosil bo‘lgan pardalar nisbatan past TQK ga ega bo‘ladi, chunki ularning solishtirma qarshiligi kichik va deformatsiyaga nisbatan sezgirligi past. Biroq nikel-xrom (NiCr), platina (Pt) va indiy qalay oksidi (ITO) asosidagi pardalar yuqori kimyoviy barqarorlik va o‘rtacha TQK qiymatlari sababli sanoatda keng qo‘llaniladi.

Kristall tuzilishi nuqtai nazaridan amorf pardalar donador (polikristallik) pardalardan farq qiladi. Amorf holat don chegaralarining yo‘qligi sababli elektr o‘tkazuvchanlikda sochilishni kamaytiradi, lekin bir vaqtning o‘zida pьezorezistiv ta'sirni ham pasaytirishi mumkin. Polikristallik pardalarning don kattaligi 10–100 nm oralig‘ida bo‘lganda TQK ning maksimal qiymatlari kuzatilishi eksperimental yo‘l bilan isbotlangan. Don chegaralarida elektron sochilishining ortishi deformatsiyaga bo‘lgan sezgirlikni oshiradi.

3. Qatlam qalinligining ta’siri

Yupqa parda qalinligi tenzoqarshilik xossalariga sifat jihatidan ta'sir ko‘rsatadi. Qalinlik 100 nm dan oshiqcha bo‘lganida TQK qiymatlari massiv materialnikiga yaqinlashadi. 10–100 nm oralig‘idagi pardalar uchun yuzaki sochilish mexanizmlari ustunlik qiladi va TQK ning qalinlikka bog‘liqligi kuchayadi. 10 nm dan kam qalinlikdagi pardalar uchun esa diskret (tunel) o‘tkazuvchanlik rejimi yuzaga keladi:

$$G \propto \exp(-2\kappa d)$$

(2-formula)

bu yerda **κ** - to‘siq ostidagi tunel parametri, **d** - to‘siq qalinligi. Bu rejimda GF qiymatlari juda katta bo‘lishi mumkin, ammo parda xossalari barqarorligini ta'minlash texnologik jihatdan murakkablashadi.

4. Substrat va qatlam-substrat o‘zaro ta’siri

Substrat materiali parda hosil bo‘lish kinetikasi va mikrotuzilishini bevosita belgilaydi. Kremniyli plastina (Si), kaolin, shisha, poliimid (PI) va PDMS kabi elastik substratlar turli ilovalarda qo‘llaniladi. Substratning termik kengayish koeffitsienti (TKK) pardaniki bilan farq qilganda hosil bo‘luvchi termomexanik kuchlanishlar parda mikrotuzilishini o‘zgartiradi. Bu holat residual (qoldiq) zo‘riqish deb ataladi va TQK ga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi:

$$\sigma_residual = E_f \times (\alpha_s - \alpha_f) \times \Delta T / (1 - \nu)$$

(3-formula)

bu yerda **E_f** - parda elastiklik moduli, **α_s** va **α_f** - substrat va parda TKK lari, **ΔT** - harorat farqi, **ν** - Puasson koeffitsienti. Elastik polimer substratlar (masalan, PDMS) katta deformatsiyalarda bardosh bera olishi sababli moslashuvchan (flexible) sensor texnologiyalarida alohida qiziqish uyg‘otmoqda.

5. Hosil bo‘lish texnologiyasi va termik ishlov berish

Yupqa pardalarni hosil qilish usuli - magnetron sputtering, termik bug‘latish, impuls lazer cho‘ktirish (PLD), kimyoviy bug‘ cho‘ktirish (CVD) yoki elektrolitik usul - pardaning mikrotuzilishini va natijada tenzoqarshilik xossalarini tubdan belgilaydi. Magnetron sputtering da ishchi bosim (0.1–5 Pa), quvvat zichligi va substrat harorati pardaning donadorligi, teksturasi va qoldiq zo‘riqishiga ta'sir qiladi.

Hosil qilingan pardani termik ishlov berish (anneal) jarayoniga tobe qilish don o‘sishini, fazaviy o‘zgarishlarni va ichki kuchlanishlarning relaksatsiyasini ta'minlaydi. Odatda 200–600°C oralig‘ida amalga oshiriladigan termik ishlov NiCr pardalarida TQK ning barqarorlashuviga va qarshilik-harorat koeffitsienti (TCR) ning kamayishiga olib keladi. Bu kabi parametrlarni optimallashtirish yuqori metrologik sifatli tenzodatchiklar yaratishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

XULOSA

Olib borilgan tahlil asosida yupqa pardalar tenzoqarshiligiga ta'sir etuvchi omillarning o‘zaro bog‘liqligi va ahamiyati ko‘rsatildi. Material tarkibi, qatlam qalinligi, substrat xossalari, hosil bo‘lish texnologiyasi hamda termik ishlov berish parametrlari tenzoqarshilik koeffitsientini belgilovchi asosiy fizik-texnologik omillar ekanligi aniqlandi. Metall pardalar (NiCr, Pt) yuqori barqarorlik va chiziqlilikni ta'minlasa, yarim o‘tkazgich asosidagi pardalar ancha katta sezgirlikni vujudga keltiradi. Qatlam qalinligi 10–100 nm oralig‘ida bo‘lganda don chegaralari sochilishi va tunel o‘tkazuvchanlik mexanizmlari ustunlik qilib, TQK ning qalinlikka bog‘liqligi keskin namoyon bo‘ladi. Substrat materiallari va qoldiq zo‘riqishlarning tenzoqarshilik xossalariga ta'siri egiluvchan sensor texnologiyalari uchun alohida ahamiyat kasb etadi. Kelgusida ko‘p qatlamli va nanokompoziit pardalar asosidagi yuqori sezgirli tenzodatchiklar yaratish uchun ushbu omillarni kompleks inobatga olgan holda texnologik jarayonlarni optimallashtirish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nix W.D., Gao H. An atomistic interpretation of interface stress // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. - 1998. - Vol. 46. - P. 411–425.

2. Janata J. Principles of Chemical Sensors. - New York: Springer, 2009. - 373 p.

3. Smith C.S. Piezoresistance Effect in Germanium and Silicon // Physical Review. - 1954. - Vol. 94, No. 1. - P. 42–49.

4. Chopra K.L. Thin Film Phenomena. - New York: McGraw-Hill, 1969. - 877 p.

5. Ho V.H., Nguyen T.K., Lee N.E. Highly sensitive flexible polyurethane-based magnetic sensors for healthcare // Advanced Functional Materials. - 2017. - Vol. 27, No. 25. - 1700845.

6. Fiorillo A.S., Critello C.D., Pullano S.A. Theory, technology and applications of piezoresistive sensors: A review // Sensors and Actuators A: Physical. - 2018. - Vol. 281. - P. 156–175.

G‘ulomjanova Sevaraxon G‘ofurjon qizi

19 THE INVERSE-SOURCE PROBLEM FOR MIXED-TYPE EQUATIONS
Murolimova N.A. **99**

20 INVERSE COEFFICIENT PROBLEM FOR A DEGENERATE PARABOLIC EQUATION WITH THE BESSEL OPERATOR
Kodiraliev Asadbek **102**

21 A BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR A COUPLED SECOND KIND DEGENERATE HYPERBOLIC EQUATIONS
Feruza Mamanazarova **106**

22 YUPQA PARDALAR TENZOQARSHILIGIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI
To‘xtasinov Oybekjon Abduvahob o‘g‘li **110**

23 YARIMO‘TKAZGICHLAR VA IOT (INTERNET OF THINGS): RAQAMLI DUNYO TARMOG‘INING RIVOJI
To‘xtasinov Oybekjon Abduvahob o‘g‘li **113**

24 СВОЙСТВА СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ
Д.М.Ташланова
А.И.Зокиров **115**

25 FARG‘ONA VODIYSI IQLIM SHAROITIDA QUYOSH PANELLARI ISHLASH SAMARADORLIGIGA TA'SIR ETUVCHI ASOSIY OMILLARNING KOMPLEKS TAHLILI
Axmedova Shalola Yunusali qizi
Kamolova Muhabbatxon Muhiddin qizi
Holmatova Ruhshona **119**

26 TOR TEBRANISH TENGLAMASI UCHUN INTEGRAL SHARTLI MASALA
Jo‘rayeva Dilnavoz Umidjon qizi **126**

27 BESSEL OPERATORI QATNASHGAN ITERATSIYALANGAN ISSIQLIK TENGLAMALARINI TADQIQ ETISH
Raximova Sh.U. **129**

28 KUCHSIZ-SINGULYAR INTEGRAL OPERATORLAR UCHUN SHARTLANGAN ITERATSION METODLARNI TADQIQ QILISH
Raximov Quvvatali Ortiqovich **131**