



LAZER BILAN INDUKSIYALANGAN GRAFEN ASOSIDAGI FIZIK VA KIMYOVIY SENSOR MEXANIZMLARI

Sherzodjon Ahmedov

Chirchiq davlat pedagogika universiteti

Gulnoza Djumayeva

Chirchiq davlat pedagogika universiteti

Annotatsiya: *Lazer bilan induktsiyalangan grafen (LIG) uglerod o'z ichiga olgan prekursorlarni to'g'ridan-to'g'ri nurlantirish orqali ishlab chiqariladi va tabiiy ravishda uch o'lchamli g'ovakli struktura sifatida namoyon bo'ladi [1]. Tayyorlash qulayligi, vaqtni tejash, atrof-muhitga zarar yetkazmaslik, arzon narxlardagi va xom ashyo toifalarini kengaytirish kabi afzalliklari bilan LIG va uning hosilalari sensorlarda keng qo'llanilishga erishdi. Bu taqiladigan (носимые устройства) qurilmalar, kasalliklar diagnostikasi, aqlli robotlar va ifloslanishni aniqlash kabi turli sohalarda kuzatilgan. Bu maqolada birinchi navbatda fizik, biologik va kimyoviy aniqlash uchun grafenga asoslangan sensorlar ko'rib chiqiladi, so'ngra lazer yordamida grafen ishlab chiqarish uchun umumiy tayyorgarlik usullari taqdim etiladi [2-3]. LIG ning tayyorlanishi va afzalliklari, sezish mexanizmlari va har xil turdagi yangi LIGga asoslangan sensorlarning xususiyatlari har tomonlama ko'rib chiqiladi.*

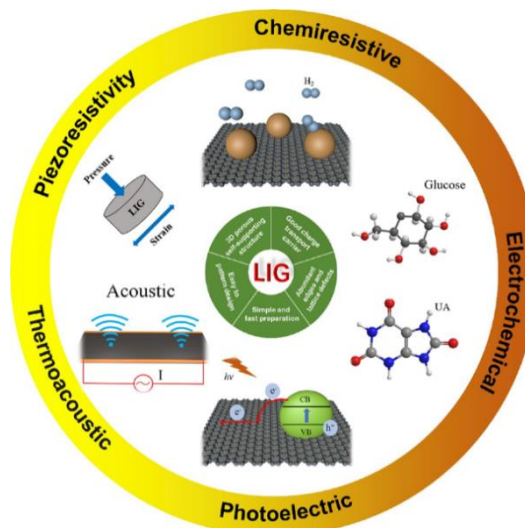
Kalit so'zlar: *grafen, lazer bilan induktsiyalangan grafen, kimyoviy sensorlar, fizik sensorlar, sensorli mexanizmlar, taqiladigan sensorlar, funksional modifikatsiya, portativ qurilmalar.*

KIRISH

So'nggi yillarda istiqbolli uglerod nanomateriallaridan biri sifatida grafen va uning hosilalari o'zining ajoyib fizik-kimyoviy va strukturaviy xususiyatlari tufayli turli xil sensorli materiallarga munosib alternativ sifatida paydo bo'ldi. Grafen sp²-bog'langan uglerod atomlarining ikki o'lchovli (2D) nanolistdir (nanosheet) va katta sirt maydoni, yuqori elektron harakatchanligi, yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi, yaxshi mexanik mustahkamlik, yaxshi biyoslashuv va mukammal kimyoviy barqarorlikka ega. Tuzilishi va xususiyatlari grafen va uning hosilalarini bosim, foton oqimi, mexanik kuchlanish va oqsillar, glyukoza, nitrit, og'ir metallar, organik ifloslantiruvchi moddalar va gazlar kabilarni fizik xususiyatlarni aniqlash uchun sezgir va tezkor platformalarni yaratish uchun qo'llaniladi [4]. So'nggi o'n yillikda grafen odatda mexanik eksfoliatsiya (qatlam hosil qilish), kimyoviy eksfoliatsiya va kimyoviy bug'larni cho'ktirish jarayoni orqali sintez qilindi. Biroq, bu usullarning aksariyati yo juda ifloslantiruvchi yoki og'ir sharoitlarda murakkab sintez bosqichlarini talab qiladi va yuqori ishlab chiqarish xarajatlari bilan bog'liq. Amaliy ilovalarni osonlashtirish uchun grafen ishlab chiqarishning oddiy va samarali usullariga talab yuqoriligicha qolmoqda. Turli materiallarni sintez qilishda keng qo'llaniladigan lazerli ishlov berish

texnologiyasi grafen oksididan (GO) grafen hosil qilish imkonini berdi. Ajablanarlisi shundaki, so'nggi yillarda lazer nurlanishi sintetik polimerlar (masalan, polimid, politetrafloroetilen va poliefir sulfon) va tabiiy materiallarni (yog'och, lignin va hatto oziq-ovqat kabi) to'g'ridan-to'g'ri uch o'lchovli (3D) g'ovakli grafenga aylantirishi aniqlandi. Lazer bilan induksiylangan grafen (LIG) usuli tejamkor va ekologik toza jarayon sifatida qaraladi. CO₂ infraqizil lazeri fototermal yoki fotokimyoviy effektlar orqali sp³ gibrid uglerodini sp² gibrid uglerodiga yuqori sirt maydoni ($\approx 340 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), yuqori issiqlik barqarorligi ($>900 \text{ }^\circ\text{C}$) va mukammal elektron o'tkazuvchanlik (5–25 S cm⁻¹) mavjudligi uchun osongina aylantirishi mumkin. Bu xususiyatlar LIGga sensorlar, superkondensatorlar, generatorlar va optoelektronik komponentlar uchun qulay material sifatida xizmat qilish imkonini beradi [5]. LIG ning fototermik ta'siri unga ajoyib antiviral (virusga qarshi) xususiyatni beradi. Yaqinda Huang va boshqalar HCoV-OC43 va HCoV-229E ga qarshi yuqori antiviral faollikka ega bo'lgan va COVID-19 pandemiyasida qo'llanilishi mumkin bo'lgan LIG kompozit plyonka haqida xabar berishdi.

Faqat 2014 yilda topilgan grafenning kichik oilasi bo'lsa-da, LIG elektrokimyoviy, piezorezistiv, termoakustik, kimyoviy rezistent va fotoelektrik sezgir mexanizmlarga asoslangan turli xil sensorlar uchun keng ko'lamda o'rganilgan va tadqiqot natijalari fiziologik salomatlik, inson va kompyuter o'zaro ta'siri, oziq-ovqat xavfsizligi va atrof-muhit ifloslanishida istiqbolli ilovalarni namoyish etdi (1-rasm). Ushbu maqola grafenga asoslangan sensorlardagi eng zamonaviy texnika va mexanizmlarni har tomonlama ko'rib chiqishni taklif qiladi va ushbu sensorlarda LIG qo'llanilishini ta'kidlaydi [6].

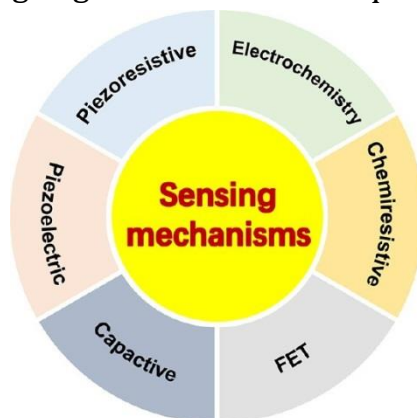


1-rasm. LIG ning afzalliklari va asosiy sezgirlik tamoyillari.

LIG sintezining xususiyatlari va yondashuvlari batafsil taqdim etilgan va tahlil qilingan. Muayyan ilovalar bilan birgalikda ushbu xususiyatlardan amaliy foydalanish tasvirlangan. LIG sensorlari bilan bog'liq muammolar umumlashtiriladi va istiqbollari taqdim etiladi. Bu mexanizmlar va innovatsion ilovalarga ega aqlli sensorlarni ishlab chiqishga turtki berishi mumkin.

METODOLOGIYA

Grafen faqat bir atom qalinligi bo'lgan odatiy 2D materialdir. U sp^2 gibrid tuzilishga ega va har bir uglerod atomi olti burchakli chuqurchalar panjaralarida joylashgan. Uning o'ziga xos xususiyatlari, masalan, katta o'ziga xos sirt maydoni ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), yaxshi elektr o'tkazuvchanligi (elektron va teshik konsentratsiyasi 10^{13} cm^{-2} gacha, migratsiya tezligi $350000 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1}$ gacha), mukammal mexanik xossalar (25% gacha sinish kuchlanishi (fracture strain), Yung moduli $\approx 1,1 \text{ TPa}$) va optik xususiyatlar (masalan, mukammal floresans so'nish (fluorescence ability) qobiliyati) grafenni mexanik sensorlar, elektrokimyoviy sensorlar va fotoelektrik sensorlar kabi turli xil sensorlar uchun ideal materialga aylantiradi (2-rasm). Bundan tashqari, grafenni kimyoviy modifikatsiya, interfeyslarni yig'ish, nanodoplash, qavatma-qavat yig'ish, lazerli skriping va dip qoplash kabi turli xil yig'ish va qayta ishlash usullari bilan funkcionallashtirish mumkin, buning natijasida turli xil sezish mexanizmlariga ega ko'plab innovatsion sensorlar paydo bo'ladi [5-7]. Grafenning ushbu ajoyib umumiy xususiyatlaridan tashqari, LIG yana 3D ramka, g'ovakli tuzilish, nuqsonlarga boy va transfer xususiyati kabi afzalliklarga ega. Keyingi bo'limda birinchi navbatda LIG sensorlarini sezish mexanizmlarini tushunish uchun sig'im, piezoelektrik, piezo qarshilik, elektrokimyoviy, kimyorezistorlar va maydon effektli tranzistorlar (FETs) kabi umumiy mexanizmlarga asoslangan grafen sensorlari taqdim etiladi (2-rasm).



2-rasm. Grafen sensorlarining umumiy sezish mexanizmi.

Bundan tashqari, ulardan amaliy foydalanish uchun grafen sensorlarini o'zgartirish va strukturaviy yig'ish usullari ishlab chiqilmoqda. Sensorlarda taqdim etilgan LIGning ajoyib xususiyati va ishlashi muhokama qilinadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

Sig'im (Capacitance). Sig'im sensor odatda ikkita o'tkazuvchan elektroddan va oraliq elastik dielektrik qatlamdan iborat. Butun qurilmaning sig'imi ikkita elektrod va dielektriklarning xususiyatlari bilan aniqlanadi. Aniqlanish sezgirligini yaxshilash uchun dielektrik qatlamlar uchun mikropiramidalar, mikrog'ovakli strukturalar, mikroustuncha massivlari va notekis yuzalar kabi ko'plab murakkab tuzilmalar taklif qilingan. Ammo bu mikroskopik modellarni tayyorlash odatda murakkab komplimkantar metall oksidi yarimo'tkazgich (CMOS) jarayonlarini talab qiladi [8-11]. Ishlab chiqarish jarayonini soddalashtirish va xarajatlarni kamaytirish uchun He va boshqalar dielektrik qatlam sifatida elastik neylon to'rga ega bo'lgan ikkita grafen

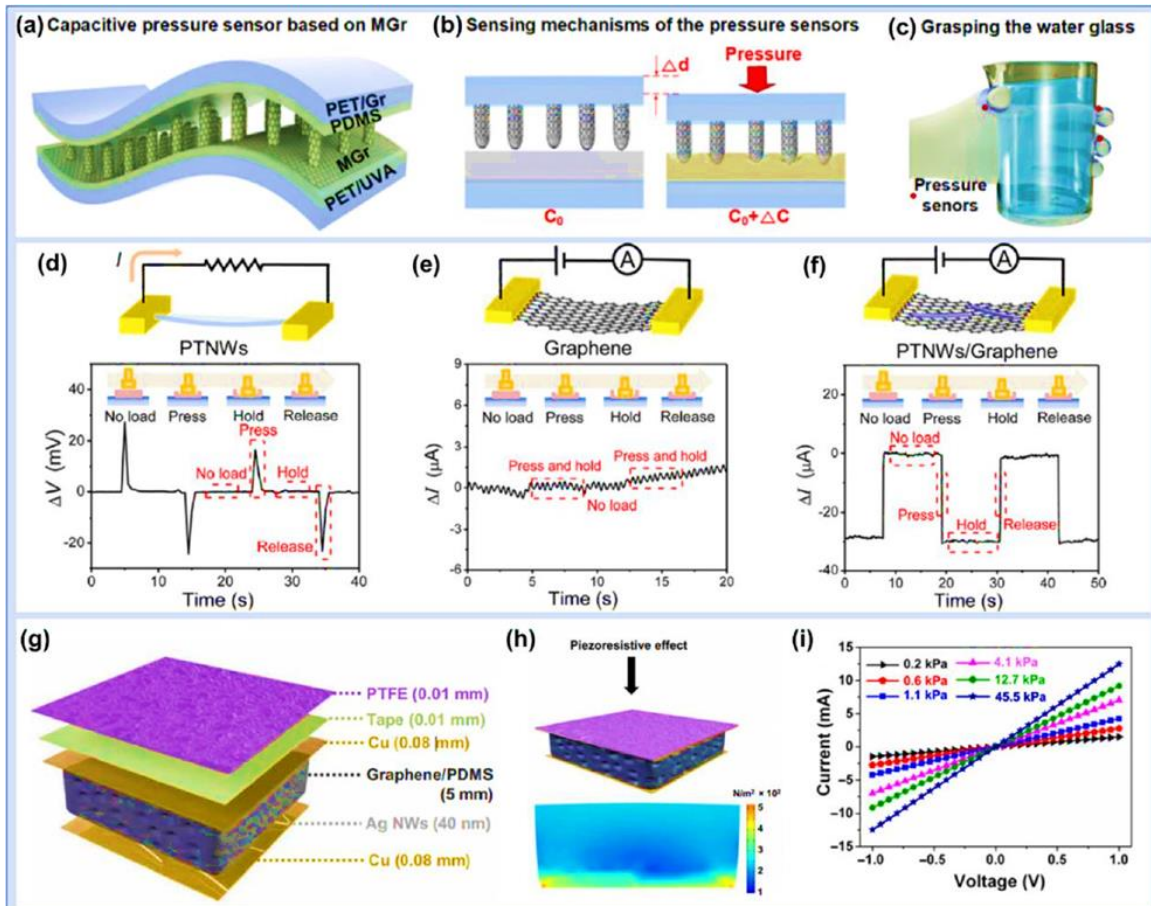


elektroddan iborat moslashuvchan bosim sensori tayyorladilar. Yuqori sezgirlik ($0,33 \text{ kPa}^{-1}$) va tezkor natija ($<20 \text{ ms}$) ga erishildi, shunda sensor dinamik bosimdagi kichik o'zgarishlarni, masalan, sensorga tushgan suv tomchilarining impuls o'zgarishini aniqlashni osonlashtirdi. Pyo va boshqalar ikki to'plam grafen elektrodleri va dielektrik havodan tashkil topgan moslashuvchan va o'zaro aloqasiz sig'imli taktill (touch-teginish) qatlam yaratdilar. Grafen elektr xavsizligini va mexanik moslashuvchanlikni ta'minladi va havo bo'shlig'i bosim ostida elektrodning yanada samarali deformatsiyasiga imkon berdi, natijada $6,55\% \text{ kPa}^{-1}$ yuqori sezuvchanlik va $\approx 70 \text{ ms}$ tezkor javob berish vaqtiga erishildi. Havo dielektrik qatlami odatda polidimetilsiloksanning (PDMS) dielektrik deformatsiyasi (damping-amortizatsiya) natijasida yuzaga keladigan energiya tarqalishini oldini oladi, shuning uchun grafen elektrodli bosim ostida yanada samarali deformatsiyalanishi mumkin.

Grafen elektrodning mikro tuzilishini nazorat qilish sezgirlikni oshirishning yana bir samarali usuli hisoblanadi. Elektrodning dag'alligini oshirish va sozlash sig'imli bosim sensorlarining sezgirlikni samarali ravishda yaxshilash va sozlash imkonini beradi. Yang va boshqalar ultra sezgir va sozlanishi moslashuvchan sig'imli bosim sensorlari uchun 3D mikrokonformal grafen elektrodini namoyish qildilar (3a-c-rasm). Grafening nano va mikrometrli morfologiyalarini o'rganish shuni ko'rsatdiki, mikro tuzilmali grafen elektrodli katta deformatsiyani kuchaytirish orqali sig'imli bosim sensorlarining sezgirlikni samarali ravishda yaxshilashi va sezgirlikni boshqariladigan mikrokonformal tuzilish bilan sozlash mumkin. Yuqori samarali sig'imli bosim sensori nosimmetrik mikrokonformal grafen elektrodleri orqali yuqori sezuvchanlikka ($3,19 \text{ kPa}^{-1}$), tezkor javobga (30 ms) va ultra past aniqlash chegarasiga (1 mg) va $7,68 \text{ kPa}^{-1}$ ultra sezgirlikka erishdi. Tadqiqot, shuningdek, sudralib yuruvchi hasharotlarni aniqlash, bilak pulsini kuzatish va robotli taktill sezishning kuch-teskari aloqalarida amaliy qo'llanilishiga erishdi.

Piezoelektrik. Poliviniliden ftorid (PVDF), qo'rg'oshin tsirkonat titanat (PZT) va rux oksidi (ZnO) kabi ba'zi piezoelektrik materiallarda dipol oralig'ini bosim ostida o'zgartirish elektrodlerde zaryad to'planishi va kuchlanish hosil bo'lishiga olib keladi. Shunday qilib, piezoelektrik sensorlar mexanik kuchlarni kuchlanish signallariga aylantirishi mumkin, bu o'z-o'zidan ishlaydigan qurilmalarni yaratishni osonlashtiradi va taqiladigan qurilmalarda ishlatilishi mumkin. Biroq, piezoelektrik sensorlar faqat dinamik bosimni aniqlay oladi, chunki piezoelektrik materiallar tashqi kuchlarga javoban faqat vaqtinchalik signallarni chiqaradi. Kuchlar saqlanib qolsa-da, signallar yo'qoladi. Sof PbTiO_3 nanosimlari (PTNW) asosidagi bosim sensori uchun qarama-qarshi qutbli manfiy va musbat zaryad tashuvchilar PTNWlar yuzasida hosil bo'lgan qutb zaryadlarini tezda muvozanatlashtiradi va kuchlanish nolga tushadi (3d-rasm). Grafening panjara buzilishi tashuvchilarni tashishni o'zgartiradi, ammo ma'lum bir chegara deformatsiyasi (20%) talab qilinadi. Shuning uchun, $0,4 \text{ N}$ bosim ostida grafen bosimi sensori uchun oqim o'zgarishi yo'q (3e-rasm). PTNW/grafen geterogenligidan foydalangan holda ishlab chiqilgan bosim sensori statik o'lchovlar uchun sezgir

ishlashni ko'rsatdi (3-rasm f). Statik monitoring mexanizmi shundan iboratki, PTNWlarda qutblangan zaryadlar grafendagi tarqalish manbalarini oshiradi va grafening o'tkazuvchanligini pasaytiradi. Bundan tashqari, PTNW/grafen $9,4 \times 10^{-3}$ kPa⁻¹ gacha sezgirlikka ega va dinamik o'lchovlar uchun ham ishlatilishi mumkin (masalan, insonning radial arteriyasi).

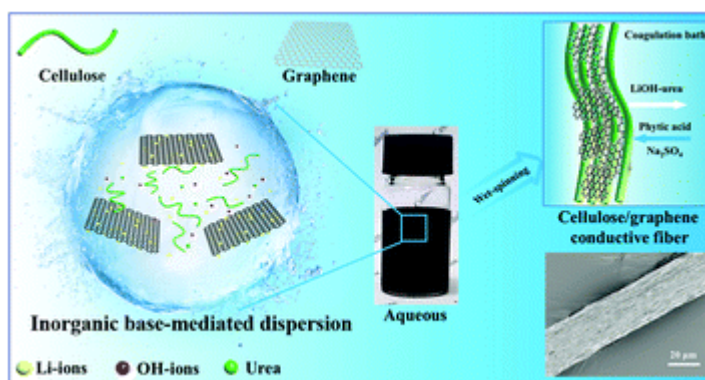


3-rasm. Kapasitiv, piezoelektrik va piezorezistiv sezish mexanizmlariga asoslangan grafen bosim sensorlari. (a) strukturaning sxematik diagrammasi, (b) sensorli mexanizmlar va (c) mikrostrukturali grafen elektrodleri asosidagi sig'imli bosim datchiklari uchun qo'l ushlab sezishning sxematik diagrammasi. Ref 73 mualliflik huquqi 2019 Amerika kimyo jamiyati ruxsati bilan qayta nashr etilgan. Bosim zarbasi ostida (d) PbTiO₃ nanosimlari, (e) grafen va (f) PbTiO₃ nanosimlari/grafen bosim sezgichlarining bosim javobi. Ref 10 ruxsati bilan qayta nashr etilgan. Mualliflik huquqi 2017 Amerika Kimyo Jamiyati. (g-i) Grafen/PDMS shimgichga asoslangan ko'p funksiyali teginish sensori. g) konstruktiv sxematik diagramma. (h) Bosim gradienti ostida grafen/PDMS kompozitlarining kuchlanish maydoni simulyatsiya qilingan. (i) piezorezistiv javob. 84-ref ruxsati bilan qayta nashr etilgan. Mualliflik huquqi 2020 Amerika fan taraqqiyoti assotsiatsiyasi.

Piezorezistivlik. Tashqi stimulni qarshilikning o'zgarishiga aylantiruvchi piezorezistiv sensorlar nisbatan sodda dizayni, oddiy o'qish tizimi, keng aniqlash diapazoni va chidamliligi tufayli eng ko'p ishlatiladigan sensorlarga aylandi. Grafenga asoslangan piezorezistiv sensorlarning mexanizmlari odatda quyidagicha ko'rib chiqiladi. Bir o'qli deformatsiya paytida pastki panjaraning simmetriyasini buzish



ta'siri grafening tarmoqli bo'shlig'ining ochilishiga olib keladi, bu esa qarshilikning oshishiga olib keladi. Boshqa tomondan, grafen va uning hosilalari tomonidan yig'ilgan o'tkazuvchilar tarmog'ining bo'laklari kuchlanish yoki bosim ostida bir-birini bog'lashi mumkin. Grafen tashqi kuchni yo'qotgandan so'ng qayta tiklanishi mumkin va qarshilikda qaytariladigan o'zgarishlarni ko'rsatadi. Mono yoki bir necha qatlamli grafen cheklangan diapazonda faqat 6% ga cho'zilishi mumkin. Bu cho'zilgan paytda >50% deformatsiyaga olib kelishi mumkin bo'lgan qo'shimcha ta'sirlar kabi inson harakatlaridan kelib chiqadigan ba'zi katta deformatsiyalarni samarali aniqlash uchun yetarli emas. Chidamlilikni oshirish usullaridan biri bu ajinli (sirti g'ijimlangan buklangan, notekis - wrinkly, морщинистого) grafendan datchiklar yasashdir. Liu va boshqalar baliq-tangachali strukturadagi grafendan keng sezgir diapazonga ega (82% gacha kuchlanish) yuqori samarali kuchlanish sensorini tayyorlash uchun foydalanganlar. Grafen deformatsiyasi sensori maydalangan grafen va nanosellulozadan tayyorlangan va 100% gacha aniqlash chegarasiga ega bo'lgan [1-5, 15].



Odatda piezorezistiv sensorlarda aniqlash tashqi bosim ostida kesimlarni (cross-sectional) deformatsiyadan kelib chiqqan kontakt qarshiligidagi o'zgarishlarni aniqlash orqali amalga oshiriladi. Shu sababli, grafen materiallarining mikrostrukturali qatorini ishlab chiqish qarshilik reaksiyasini kuchaytirish uchun ham katta ahamiyatga ega. G'ovakli grafen tarmoqlarni (networks) qurish grafenga asoslangan sensorlarning sezgirliги va kuchlanish xususiyatlarini yaxshilash uchun muhim yondashuvdir. Masalan, grafen ko'pik (foamed вспененный) odatda ikkita usul bilan ishlab chiqariladi. Ulardan biri mis yoki nikel ko'pikli substratlarda grafenni to'g'ridan-to'g'ri o'stirish va keyin 3D grafen ko'piklarini ishlab chiqarish uchun metall shablonlarni o'rashni o'z ichiga oladi. Yana bir usul - grafen bilan qoplangan skeletlar sifatida polimer ko'piklari (masalan, poliuretan, polivinilxlorid) bilan egiluvchan kompozitsiyalarni tayyorlash. Yaqinda Vang va boshqalar tomonidan grafen va PDMSdan tayyorlangan gidrofobik plyonka va shimgichdan tashkil topgan avtonom ishlaydigan ko'p funksiyali teginish sensori (tactile sensor) haqida xabar berilgan [16-17]. Sensor bosim va haroratni osongina aniqlashi mumkin, bu esa materialni taqiladigan (носимой) elektronika va robototexnika sohasida qo'llash imkoniyatini beradi (3g-i-rasm). Boland va boshqalar viskoelastik (yopishqoq) grafen-polimer



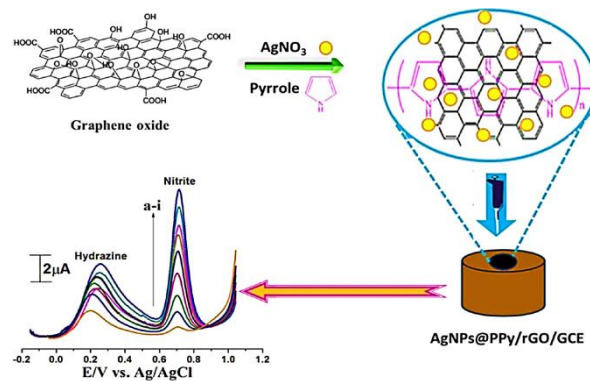
nanokompozitlari yordamida sezgir elektromexanik sensorlar tayyorladilar, ular hatto kompozitning yupqa dumaloq varag'i bo'ylab o'rgimchakning yurishini aniqlay oladi.

Elektrokimyoy. Grafen biologik va kimyoviy sensorlarda keng qo'llaniladi, chunki u yuqori va heterojen elektron uzatish tezligi, past kuchlanish, keng potentsial oyna va ahamiyatsiz qoldiq oqimga ega. Elektrokimyoviy sezgirlikni yaxshilash uchun grafen muntazam ravishda kovalent va kovalent bo'lmagan usullar bilan ishlaydi. Grafen yuzasidagi kimyoviy guruhlar (masalan, gidroksil, karboksil va epoksi guruhlari) kovalent aloqalar orqali funksional molekullarni (masalan, oqsillar, uglevodlar va polimerlar) payvandlash uchun kimyoviy tutqich bo'lib xizmat qilishi mumkin. Qiao va boshqalar palmitinni aniq aniqlash uchun L-metioninni GO ga kovalent tarzda o'zgartirdilar. U L-metionin va GO ning karboksil yoki epoksi guruhlari o'rtasidagi kondensatsiya va nukleofil qo'shilish reaksiyasiga asoslangan. Kovalent modifikatsiyaning afzalligi shundaki, o'ziga xos kuch va yuqori barqarorlikka ega funkcionallashtirilgan grafenni olish mumkin. Salbiy tomoni shundaki, kovalent aloqalarni joriy qilish grafenning tabiiy elektron tuzilishini yo'q qiladi, bu esa zaryad o'tkazish tezligining jiddiy pasayishiga olib keladi. Bundan tashqari, kovalent jarayonlar ko'pincha ko'p vaqt talab qiladi va sintetik sharoitlarga sezgir.

Kovalent bo'lmagan funksionalizatsiya odatda π - π stacking (штабелирование, ketma-ketlikda), anion-p o'zaro ta'sirlari, hidrofobik o'zaro ta'sirlar va vodorod bog'lanishi kabi molekullararo o'zaro ta'sirlar orqali erishiladi. Grafenni ulkan aromatik molekula deb hisoblash mumkin va aromatik halqalarga ega har qanday molekula π - π stacking orqali grafen yuzasida adsorbsiyalanishi mumkin. Kovalent bo'lmagan fizik adsorbsiya o'ziga xos emas. Shuning uchun, umumiy passivatsiya molekullari (masalan, sigir zardobi albumini, tvit-20 va baliq jelatini) odatda istalmagan molekullarning nospetsifik yopishishini oldini olish uchun ishlamaydigan hududlarni (joylarni) blokirovka qilish uchun ishlatiladi. Kovalent modifikatsiya bilan solishtirganda, kovalent bo'lmagan o'zgartirilgan grafen zaifroq barqarorlik va o'ziga xoslikka ega, ammo grafenning tabiiy xususiyatlarini yaxshi saqlab qolish mumkin. O'zgartirish grafenning xususiyatlariga ta'sir qilishi va natijada uning aniqlovchi sezgirlikni o'zgartirishi mumkin [18].

Bundan tashqari, turli xil funksional moddalarning kombinatsiyasi yuqori samarali sensorlarni loyihalashning umumiy strategiyasidir. Masalan, kumush nanozarracha/polipirol/qaytarilgan (reduced graphene oxide) grafen oksidi/shisha uglerod elektrodi (AgNPs@PPy/ RGO/GCE) antiamin va nitrit uchun mos ravishda 19 nM va 21 nM kabi juda past aniqlash chegaralariga yetdi (4-rasm). Yuqori o'ziga xos sirt maydoni va elektron uzatish qobiliyatiga ega bo'lgan grafen AgNP uchun yaxshi yuklash platformasini (loading platform) ta'minlaydi va elektronlarni metall katalitik faol markazlardan samarali ravishda o'tkazishi mumkin. Polimer o'tkazuvchilar katta kovalent bog'lanish (large conjugated structures) strukturalarga ega bo'lib, ular zaryad tashuvchilarni delokalizatsiya qilish imkonini beradi va sezgirlikni yaxshilash uchun

grafen va analitlar orasidagi chegarasida o'tkazuvchan quvurlar sifatida ishlatilishi mumkin.

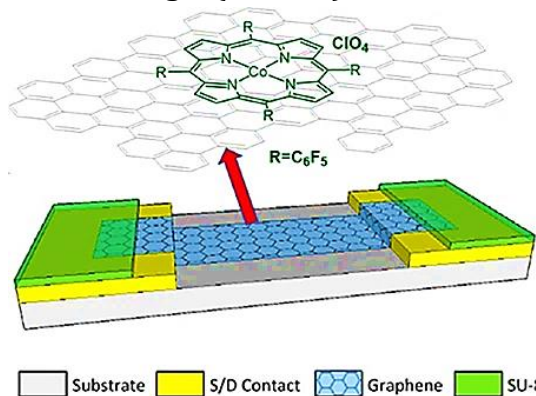


4-rasm. Gidrazin va nitritning elektrokatalitik oksidlanishi uchun AgNPs-PPy/RGO nanokompozitlarini tayyorlash jarayonining sxematik diagrammasi. 16-ref ruxsati bilan qayta nashr etilgan. Mualliflik huquqi 2017 IOP nashriyoti.

Grafen an'anaviy elektrod materiallarida mavjud bo'lmagan metallar va polimer o'tkazgichlarni funksionallashtirish va o'zgartirish uchun yaxshi platformani ta'minlaydi. Parsae va boshqalar selekoksibni sezgir aniqlash uchun AgNPs-xolin xlorid modifikatsiyalangan GO dan foydalanish haqida xabar berishdi. Xolin xlorid gidroksil guruhlari tufayli GO ni kovalent tarzda bog'lashi mumkin, bu GO ning gidrofilligini oshiradi va AgNPlarning cho'kishiga yordam beradi. Thirumalraj va boshqalar vodorod periksni (H_2O_2) elektrokimyoviy aniqlash uchun gemoglobin yordamida grafen/jelatin kompozit elektrodini foydalandilar. Jelatin, shuningdek, H_2O_2 ni aniq aniqlash uchun gemoglobinning belgilangan(fixed) matritsasiga qo'llanilgan. Grafen ba'zi analitlar uchun cheklangan katalitik faollikka ega, ammo uning o'ziga xosligi va sezgirligi funksionalizatsiya va modifikatsiya orqali oshirilishi mumkin. Misol uchun, o'tkazuvchan polimerlar va xolin xlorid AgNPlarning grafenga yuklanishini samarali ravishda oshiradi va grafen agregatsiyasini bloklaydi [19].

Kimyoviy qarshilik. Kimyorezistiv effektlar gaz molekularini aniqlashning an'anaviy mexanizmidir. Grafen va adsorbsiyalangan molekular o'rtasida zaryad uzatish sodir bo'ladi, bu grafendagi tashuvchining zichligini va shuning uchun grafenning qarshiligini o'zgartiradi. Tashuvchining harakatchanligi va zichligi va past ichki shovqin xususiyatlari tufayli grafen azot dioksidi (NO_2), ammiak (NH_3), vodorod (H_2), vodorod sulfidi (H_2S) va oltingugurt dioksidi (SO_2) kabi turli xil xavfli gaz molekularini aniqlash uchun keng o'rganiladi. Gaz molekularini oddiygina qo'shimcha aralashmala (dopants) sifatida ko'rib chiqish mumkin va grafenning qarshiligini ularning elektron donorlari yoki retseptorlari bo'lishiga qarab gaz molekularining xususiyatlarini sozlash orqali tartibga solish mumkin. Misol uchun, NO_2 molekulasini elektron qabul qiluvchi (p-tipi) bo'lib, u grafendan elektronlarni o'zlashtira oladi va grafenning o'tkazuvchanligini oshiradi. NH_3 molekulari elektron donorlar (n-tipi), elektronlarni grafenga kiritadi va grafenning o'tkazuvchanligini pasaytiradi. Gaz molekularida grafenning ichki javobi va o'ziga xosligini yaxshilash kerak. Gaz molekularida grafenning ichki reaksiyasi va o'ziga xosligini yaxshilash

kerak. Grafening modifikatsiyasi gaz molekulariga nisbatan adsorbsion javob va selektivlikni yanada yaxshilashning samarali usulini ta'minlaydi. Misol uchun, metalloporfirinlar kuchli p-o'zaro ta'sirlar orqali grafenga kovalent bo'lmagan holda bog'lanishi va barqaror funksional matritsani ta'minlashi mumkin. McKean va boshqalarning xabar berishicha, $\text{Co}(\text{tpfpp})\text{ClO}_4$ bilan o'zgartirilgan, π o'zaro ta'siri orqali grafen bilan bog'langan kimyoviy qarshilik sensori toza grafen sensoriga qaraganda ammiakga to'rt baravar sezgir (5-rasm).



5-rasm. Ammiakni aniqlash uchun $\text{Co}(\text{tpfpp})\text{-ClO}_4$ bilan modifikatsiyalangan kimyoviy qarshilik grafen sensori. Ref 112 ruxsati bilan qayta nashr etilgan. Mualliflik huquqi 2018 Amerika Kimyo Jamiyati.

GRAFEN ISHLAB CHIQARISH USULLARI

Grafenni ishlab chiqarish usullari odatda "yuqoridan pastga" va "pastdan yuqoriga" usullariga bo'linadi. "Yuqoridan pastga" usullari asosan mexanik eksfoliatsiya (ME) va kimyoviy eksfoliatsiya (CE) deb ataladi, ularda grafit manba sifatida ishlatiladi. Yaqinda ishlab chiqilgan lazer induksiya usuli ham yuqoridan pastga yo'naltirilgan usuldir, lekin boshqa mos keladigan uglerod prekursorlaridan foydalanadi. "Pastdan yuqoriga" yondashuvlar kimyoviy bug'larning cho'kishi (chemical vapor deposition-CVD) va molekulyar nur epitaksiyasini o'z ichiga oladi. 1-jadvalda har bir usulning tamoyillari, afzalliklari va kamchiliklarini solishtiramiz.

Mexanik eksfoliatsiya. (Materialning qatlamlarini to'liq ajratish- Mechanical Exfoliation- Механическое отшелушивание). Grafen Novoselov va boshqalar tomonidan 2004 yilda oddiy "skotch lentasi usuli" orqali topilgan, bu yopishqoq lenta yordamida yuqori yo'naltirilgan pirolitik grafitdan uglerod plitalarini tozalashga ishora qiladi. Olingan bitta qatlam yoki bir necha qatlamli grafen asosan grafening ichki xususiyatlarini o'rganish uchun ishlatilgan [20]. Biroq, bu usul ko'p qatlamli grafening shakli, o'lchami va qalinligini nazorat qila olmaydi va izolyatsiya qilingan grafen listlari juda kichik o'lchamlarga ega. Bundan tashqari, kichik miqdordagi substrat variantlari, past mahsuldorlik va grafen varaqlarining kichik o'lchamlari (bir necha mikrongacha) uning real hayotda qo'llanilishini cheklaydi.

Jadval 1. Turli usullar bilan tayyorlangan grafen materiallarining afzalliklari va kamchiliklari o'rtasidagi taqqoslash



usullari	mexanik eksfoliatsiya	kimyoviy eksfoliatsiya	Kimyoviy bug'larning cho'kishi	epitaksial grafen	LIG
atmosfera	muhit	muhit	Vakuum	o'ta yuqori vakuum	muhit
harorat	muhit	100 ° C dan past	~1000 °C	>1000 °C	muhit
vaqt	o'rta	uzoq	Uzoq	uzoq	juda qisqa
qadamlar	o'rta	murakkab	o'rta	o'rta	oddiy
xarajat	past	o'rta	Yuqori	yuqori	past
chiqish	past	yuqori	Past	past	o'rta
qatlamlar	bitta/bir nechta	bir nechta	Yagona	bitta/bir nechta	bitta/bir nechta
qatlam hajmi	kichik	o'rta	Katta	katta	o'rta
mikrotuzilma	2D samolyot	kichik bo'laklar	2D tekislik	2D tekislik	2D varaqlari bilan 3D g'ovakli tarmoq
nuqson	oz	mavjud	Oz	mavjud	mavjud
funksional guruhlar	yo'qligi	mavjud	yo'qligi	yo'qligi	mavjud
o'tkazuvchanlik	ajoyib	kambag'al	Ajoyib	ajoyib	yaxshi
transfer	kerak	kerak	Kerak	yo'q	yo'q
referatlar	23, 60, 137	138-140	148, 154, 157	160-162	29, 170, 172

Kimyoviy eksfoliatsiya. Grafen varaqlari, odatda, modifikatsiyalangan Hummer usuli deb ataladigan yondashuvdan foydalangan holda kimyoviy eksfoliatsiya (CE) orqali ham ishlab chiqarilishi mumkin. Grafrit birinchi navbatda kuchli kislota va oksidlovchi (masalan, konsentrlangan sulfat kislota va kaliy permanganat) bilan oksidlanadi, bu oksidlanmagan grafritga nisbatan oksidlangan grafritni ancha oson tozalash imkonini beradi. Oksidlangan grafrit qatlamlari ultratovush dispersiyasi va ultratsentrifugalash orqali izolyatsiya qilinadi va tozalanadi, natijada GO hosil bo'ladi [21-22]. GO yuzasida karboksil (-COOH), gidroksil (-OH), epoksi (C-O-C), karbonil (-C=O) va keton (-CO) kabi ko'p miqdordagi kislorod o'z ichiga olgan guruhlar, shuningdek, oksidlanish jarayonidan kelib chiqqan sp² gibrid uglerod panjarasidagi nuqsonlar mavjud. Shunday qilib, GO ning fizik va kimyoviy xossalari sof grafendan juda farq qiladi. GO elektr izolyatsiyasi va elektron qurilmalarning qo'llanilishiga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun p-konjugatsiyalangan (gofrirovkalangan) tuzilmalarni termal, kimyoviy yoki lazer orqali tiklash muhimdir. Ammo ko'plab substratlar yuqori harorat va kuchli oksidlovchi moddalar kabi og'ir sharoitlarga bardosh bera olmaydi, shuning uchun bu usullarni ko'plab ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llash mumkin emas. Kimyoviy eksfoliatsiya grafenni keng miqyosda arzon narxlarda ishlab chiqarishning samarali usuli hisoblanadi. RGOdagi kislorod o'z ichiga olgan guruhlar



va nuqsonlar soni pasayish darajasini nazorat qilish orqali sozlanishi mumkin, bu sezgirlikni yaxshilash uchun foydalidir.

XULOSA

LIG plyonkasining kichik qismini lazer yordamida tezda ishlab chiqarish mumkin bo'lsa-da, bir xil xususiyatlarga ega bo'lgan ko'p miqdordagi naqshli LIG chiqlarini tayyorlash qiyin bo'lib qolmoqda. Ommaviy ishlab chiqarilgan sensorlar barqaror, bir xil va ishonchli xususiyatlarga ega bo'lishi kerak. Shuning uchun, ikkinchi bosqichda asosiy texnologiya LIG ning boshqa funktsional materiallar bilan kombinatsiyasi hisoblanadi. LIG-asosidagi sensorlarni ishlab chiqarish, integratsiyalash, simlarni ulash va qadoqlash Si-asosidagi qurilmalardan farq qiladigan texnologiyalarni talab qiladi. LIG-ga asoslangan sensorlar arzon narxlardagi, oson tayyorlash, moslashuvchanlik, biomoslashuv, barqarorlik, sozlanishi funktsionallik va sezgirlik afzalliklariga ega bo'lsa-da, LIG listlarining mikron miqyosdagi fazoviy o'lchamlari (12 mkm) va LIG va sxema to'g'ri ishlashga to'sqinlik qiladigan nuqsonlar yoki muammolar o'rtasidagi mexanik, termal va elektron xarakteristikalar mos kelmasligi tufayli ular miniatyura o'lchamlari va yuqori darajada integrallashgan sxemalar tizimi bo'yicha kremniy asosidagi sensorlardan pastroq. Roll-to-roll ishlab chiqarish LIG-asosidagi sensorlarni keng ko'lamli va avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish uchun potentsial usul sifatida qaraladi, ammo amaliy ishlab chiqarish jarayonlarida muhandislik muammolarini hal qilish uchun ma'lumotlar yetarli darajada emas.

REFERENCES:

1. Chabot, V.; Higgins, D.; Yu, A.; Xiao, X.; Chen, Z.; Zhang, J. A Review of Graphene and Graphene Oxide Sponge: Material Synthesis and Applications to Energy and the Environment. *Energy Environ. Sci.* 2014, 7, 1564–1596.
2. Liu, Y.; Dong, X.; Chen, P. Biological and Chemical Sensors Based on Graphene Materials. *Chem. Soc. Rev.* 2012, 41, 2283–307.
3. Yuan, W. J.; Liu, A. R.; Huang, L.; Li, C.; Shi, G. Q. High-Performance NO₂ Sensors Based on Chemically Modified Graphene. *Adv. Mater.* 2013, 25, 766–771.
4. Park, S.; Park, M.; Kim, S.; Yi, S. G.; Kim, M.; Son, J.; Cha, J.; Hong, J.; Yoo, K. H. NO₂ Gas Sensor Based on Hydrogenated Graphene. *Appl. Phys. Lett.* 2017, 111, 213102.
5. Kwon, S. S.; Shin, J. H.; Choi, J.; Nam, S.; Park, W. I. Defect-Mediated Molecular Interaction and Charge Transfer in Graphene Mesh Glucose Sensors. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2017, 9, 14216–14221.
6. Hernaez, M. Applications of Graphene-Based Materials in Sensors. *Sensors* 2020, 20, 3196.
7. Kabiri Ameri, S.; Ho, R.; Jang, H.; Tao, L.; Wang, Y.; Wang, L.; Schnyer, D. M.; Akinwande, D.; Lu, N. Graphene Electronic Tattoo Sensors. *ACS Nano* 2017, 11, 7634–7641.



8. Chen, Z.; Wang, Z.; Li, X.; Lin, Y.; Luo, N.; Long, M.; Zhao, N.; Xu, J.-B. Flexible Piezoelectric-Induced Pressure Sensors for Static Measurements Based on Nanowires/Graphene Heterostructures. *ACS Nano* 2017, 11, 4507–4513.
9. Xia, F.; Mueller, T.; Golizadeh-Mojarad, R.; Freitag, M.; Lin, Y.-M.; Tsang, J.; Perebeinos, V.; Avouris, P. Photocurrent Imaging and Efficient Photon Detection in a Graphene Transistor. *Nano Lett.* 2009, 9, 1039–1044.
10. Gao, L.; Li, Q.; Li, R.; Yan, L.; Zhou, Y.; Chen, K.; Shi, H. Highly Sensitive Detection for Proteins Using Graphene Oxide-Aptamer Based Sensors. *Nanoscale* 2015, 7, 10903–10907.
11. Song, Y.; Qu, K.; Zhao, C.; Ren, J.; Qu, X. Graphene Oxide: Intrinsic Peroxidase Catalytic Activity and Its Application to Glucose Detection. *Adv. Mater.* 2010, 22, 2206–2210.
12. Kaladevi, G.; Meenakshi, S.; Pandian, K.; Wilson, P. Synthesis of Well-Dispersed Silver Nanoparticles on Polypyrrole/Reduced Graphene Oxide Nanocomposite for Simultaneous Detection of Toxic Hydrazine and Nitrite in Water Sources. *J. Electrochem. Soc.* 2017, 164, B620–B631.
13. Chang, J.; Zhou, G.; Christensen, E. R.; Heideman, R.; Chen, J. Graphene-Based Sensors for Detection of Heavy Metals in Water: A Review. *Anal. Bioanal. Chem.* 2014, 406, 3957–3975.
14. LEARNING AND TEACHER COLLABORATION IS AN IMPORTANT EDUCATIONAL PART OF INDEPENDENT WORK METHODOLOGY. (2024). *Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods*, 2(5), 195-197. <https://westerneuropeanstudies.com/index.php/1/article/view/986>
15. Shodmanov, J. B., Eshchanov, B. X., Ahmedov, Sh. T. (2022). Aromatik uglevodorodlarda yorug'likning noqutblangan molekulyar sohilishi. *Academic research in educational sciences*, 3(3), 1127-1137.
16. Sherzodjon To'liqin O'G'li Ahmedov, Bahodir Xudoyberganovich Eshchanov, & Jalol Baxtiyor O'G'li Shodmonov (2022). AROMATIK UGLEVODORODLARDA MOLEKULALARARO O'ZARO TA'SIRLASHUVNING RAMAN SPEKTRLARIDA NAMOYON BO'LISHI. *Academic research in educational sciences*, 3 (3), 693-705.
17. Ganeev, R.A., Eshchanov, B.K., Iqbal, M. et al. Frequency conversion of laser pulses in gold plasma: blueshift and splitting of high-order harmonics. *Appl. Phys. B* 130, 91 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00340-024-08237-6>
18. SURFACE ENHANCED RAMAN SCATTERING: NEW CONCEPTS IN MECHANISMS AND MODELING. (2024). *Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods*, 2(4), 127-134. <https://westerneuropeanstudies.com/index.php/1/article/view/709>
19. Ahmedov, S., Muxtoraliyeva, M., & Sobitova, Z. (2023). EMISSION VA YUTILISH SPEKTRLARINI KUZATISH UCHUN QO'LDAY TAYYORLANGAN QEWCAM



SPEKTROMETRI. O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI, 2(20), 32-41.

20. Ahmedov Sherzodjon To'lqin o'g'li. (2023). Nanostrukturali Metall Sirtlarda Raman Signalining Kuchayishi. *Diversity Research: Journal of Analysis and Trends*, 1(2), 64-72. Retrieved from <https://academiaone.org/index.php/2/article/view/72>

21. Eshchanov B., Ahmedov S. METHODOLOGY FOR PROCESSING RAMAN SPECTRAL RESULTS: QUANTUM-CHEMICAL CALCULATION. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 3 (12), 459-470. – 2022.

22. To'raxodjayevna, Shermetova Sayyora. "UMUMIY O 'RTA TA 'LIM MAKTABLARIDA O'QUVCHILARNING FIZIKA FANINI O'QITISHDA MUSTAQIL ISHNING NAZARIY VA AMALIY ASOSLARI.: UMUMIY O'RTA TA 'LIM MAKTABLARIDA O 'QUVCHILARNING FIZIKA FANINI O 'QITISHDA MUSTAQIL ISHNING NAZARIY VA AMALIY ASOSLARI." (2023): 356-360.