

МЕТАЛЛУРГИЯ, ЖАҢА МАТЕРИАЛДАР ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫDOI: <https://www.doi.org/10.53002/066>**GRAPHENE AND ITS PROSPECTS IN ELECTRONIC DEVICES**^{1*}*Kulidan S., ¹Qasymova A.Q., ²Seref M.S.*¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*²*Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey*** Corresponding author e-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz***Author information:****Kulidan S.** - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz**Qasymova A.Q.** - Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan. E-mail: a.kassymova@tttu.edu.kz**Seref M.S.** - Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: ssonmez@itu.edu.kz

Abstract. With the rapid development of technology and the dramatic improvement in the quality of life in recent years, traditional electronic technology is becoming increasingly difficult to meet people's needs, and portable flexible electronic (FE) technology products are also distinguished. However, with the development of research and application in the field of FE, people have made higher demands on FE products in terms of electronic performance, lighting performance, and mechanical tensile performance. As a new carbon nanomaterial, graphene has large mechanical, thermal, electrical and optical properties and is an excellent raw material for the manufacture of FE devices with wide application prospects. This work introduces the development of graphene preparation and application, and the results of its application in the field of FE summarize the current research progress of graphene in the field of FE, and aims to discuss and compare the technical characteristics and development potential of different methods in each application. This review is expected to provide theoretical and data especially for the application and preparation of graphene in the field of FE, and provide new ideas for the development of graphene applications in the field of FE.

Keywords: graphene, electronics, biomaterial, polymer.

ГРАФЕН ЖӘНЕ ОНЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДАҒЫ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ^{1*}*Кулидан С., ¹Қасымова А.Қ., ²Seref M.S.*¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*²*Стамбул техникалық университеті, Стамбул, Түркия*** Автор-корреспондент e-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz***Авторлар туралы ақпарат:****Кулидан С.** - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz**Қасымова А.Қ.** - Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан. E-mail: a.kassymova@tttu.edu.kz**Seref M.S.** - Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция. E-mail: ssonmez@itu.edu.kz

Аңдатпа. Технологияның қарқынды дамуымен және соңғы жылдары өмір сүру сапасының күрт жақсаруымен дәстүрлі электронды технология адамдардың қажеттіліктерін қанағаттандыру қиынға соғуда және портативті икемді электронды (FE) технология өнімдері де ерекшеленеді. Дегенмен, FE саласындағы зерттеулер мен қолданудың дамуымен адамдар электрондық өнімділік, жарық беру өнімділігі және механикалық созылу көрсеткіштері бойынша FE өнімдеріне жоғары талаптар қойды. Жаңа көміртекті наноматериал ретінде графен үлкен механикалық, жылулық, электрлік және оптикалық қасиеттерге ие және кең қолдану перспективалары бар FE құрылғыларын дайындау үшін тамаша шикізат болып табылады. Бұл жұмыс графенді дайындау мен қолданудың дамуымен таныстырады және оны FE саласында қолдану нәтижелері FE саласындағы графеннің ағымдағы зерттеу барысын қорытындылайды және әр қолданбадағы әртүрлі әдістердің техникалық сипаттамалары мен даму әлеуетін талқылауға және салыстыруға бағытталған. Бұл шолу әсіресе FE саласында графенді қолдану және дайындау үшін теориялық және деректермен қамтамасыз етеді және FE саласындағы графен қосымшаларын дамыту үшін жаңа идеяларды береді деп күтілуде.

Түйін сөздер: Графен, электроника, биоматериал, полимер.

ГРАФЕН И ЕГО ПЕРСПЕКТИВЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

^{1*}Кулидан С., ¹Қасымова А.Қ., ²Seref M.S.

¹Қарағандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция

* Автор-корреспондент e-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Кулидан С. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail: s.kulidan@tttu.edu.kz

Қасымова А.Қ. - Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан. E-mail:

a.kassymova@tttu.edu.kz

Seref M.S. -Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция. E-mail: ssonmez@itu.edu.kz

Аннотация. С быстрым развитием технологий и резким улучшением качества жизни в последние годы традиционные электронные технологии становятся все труднее удовлетворять потребности людей, и портативные гибкие электронные (FE) технологические продукты также выделяются. Однако с развитием исследований и приложений в области FE люди предъявляли более высокие требования к продуктам FE с точки зрения электронных характеристик, характеристик освещения и механических характеристик растяжения. Как новый углеродный наноматериал, графен является идеальным сырьем для изготовления устройств FE, которые обладают большими механическими, тепловыми, электрическими и оптическими свойствами и имеют широкие перспективы применения. Эта работа знакомит с развитием производства и применения графена, а результаты его применения в области FE обобщают текущий прогресс исследований графена в области FE и направлена на обсуждение и сравнение технических характеристик и потенциала разработки различных методов в каждом приложении. Ожидается, что этот обзор предоставит теоретические и данные для использования и подготовки графена, особенно в области FE, и предоставит новые идеи для разработки приложений графена в области FE.

Ключевые слова: графен, электроника, биоматериал, полимер

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Графеннің физика-химиялық қасиеттері мен оны икемді электроника саласында қолдану мүмкіндіктеріне кешенді талдау жүргізіліп, оның жоғары электрөткізгіштігі, жылуөткізгіштігі, механикалық беріктігі және оптикалық мөлдірлігі икемді электрондық құрылғылар үшін перспективалы материал екендігі ғылыми негізделді. Сонымен қатар, графенді алу әдістері мен икемді электроникада қолдану бағыттары салыстырмалы түрде бағаланып, графенді жұқа қабықшалы транзисторларда, мөлдір өткізгіш электродтарда, сенсорларда, энергия сақтау құрылғыларында және күн элементтерінде қолданудың артықшылықтары көрсетілді. Сондай-ақ, графеннің өнеркәсіптік өндірісін кеңейтуге кедергі келтіретін негізгі факторлар – нөлдік тыйым салынған аймақтың болуы, синтез технологиясының күрделілігі және өндіріс құнының жоғарылығы айқындалып, оларды шешудің болашақтағы ғылыми-технологиялық бағыттары негізделді.

КІРІСПЕ

Қазіргі қоғам дамуының үш тірегінің бірі ретінде материалдық технология әртүрлі салаларда барған сайын маңызды рөл атқарады. The Times газетінің алға жылжуымен материалтану да қарқынды дамып келеді.

Дегенмен, тамаша қасиеттері бар әртүрлі жаңа материалдар кеңінен қолданылғанымен, материалдар саласы да жаңа міндеттерге тап болады. Өндірістегі және өмірдегі жабдықты автоматтандыру мен интеллектке сұраныс, сондай-ақ осы сұранысқа сәйкес жабдықты миниатюризациялау және тасымалдау тенденциясы электронды материалдарды нақты даму бағытына айналдырады.

Графен - көміртекті наноматериалдың жаңа түрі. Керемет механикалық, электрлік, жылулық және оптикалық қасиеттеріне байланысты графен 2004 жылы ашылғаннан бері кеңінен алаңдаушылық туғызды және жақсы қолдану перспективалары мен ғылыми зерттеу құндылығына ие болды. Атап айтқанда, ол энергетика, биомедицина, материалтану, микро-нано өңдеу және дәрі-дәрмек жеткізу салаларында маңызды рөл атқарады. Сондықтан ол болашақтың революциялық материалы болып саналады.

FEs технологиясы — бейорганикалық немесе органикалық материалдардан иілгіш және иілгіш жұқа субстраттарда (пластик немесе металл) жасалған электрондық құрылғыларды жасау технологиясы. Оның бірегей икемділігі, икемділігі және тиімді және арзан өндірістік процестерінің арқасында энергетика, қорғаныс,

медицина, ақпарат және басқа салаларда кең ауқымды қолданбалар бар.

Зерттеудің маңыздылығы. Қазіргі ғылыми зерттеулерде графеннің физика-химиялық қасиеттері, оны алу технологиялары және электрондық құрылғыларда қолдану бағыттары кеңінен қарастырылғанымен, графеннің икемді электроника (Flexible Electronics, FE) саласындағы қолданылуын оның синтез әдістерімен, құрылымдық ерекшеліктерімен және функционалдық қасиеттерімен кешенді түрде байланыстыра отырып бағалау жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Сонымен қатар, графенді икемді транзисторларда, мөлдір өткізгіш электродтарда, сенсорларда және энергия сақтау құрылғыларында тиімді пайдалануға кедергі келтіретін технологиялық шектеулер мен оларды еңсеру жолдары толық ғылыми негізделмеген. Сондықтан аталған зерттеу графеннің икемді электроника саласындағы мүмкіндіктерін жан-жақты талдауға, оның артықшылықтары мен шектеулерін жүйелеуге және болашақтағы қолдану перспективаларын айқындауға бағытталған.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы графеннің икемді электроника (Flexible Electronics, FE) саласында қолданылу мүмкіндіктеріне кешенді талдау жүргізіліп, оның физика-химиялық қасиеттері, алу әдістері және негізгі қолдану бағыттарының өзара байланысы жүйелі түрде қарастырылуында. Талдау нәтижесінде графеннің жоғары электрөткізгіштігі, жылуөткізгіштігі, механикалық беріктігі және оптикалық мөлдірлігі негізінде оны жұқа қабықшалы транзисторларда, мөлдір өткізгіш электродтарда, сенсорларда, күн элементтері мен энергия сақтау құрылғыларында қолданудың артықшылықтары ғылыми тұрғыдан негізделді. Сонымен қатар, графенді өнеркәсіптік деңгейде қолдануды шектейтін негізгі технологиялық мәселелер айқындалып, оларды шешудің перспективалық бағыттары жүйеленді.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Графен - sp^2 гибридті орбитальдарымен реттелген көміртек атомдарынан тұратын екі өлшемді (2D) ұяшық құрылымының материалы. Байланыстар өз торларында көрші көміртек атомдарын байланыстырады. Күшті байланыс әсерінен графен өте жоғары беріктік пен каттылыққа ие. Тестілеуден кейін графен моноқабатының Янг модулі 1,0 ТПа құрайды. Созылу күші 130 ГПа [1]. Графендегі электрондар байланыссыз екі өлшемді жазықтықта еркін қозғала алады, бұл оның электрон тасымалдауында және басқа қасиеттерінде өте

маңызды рөл атқарады. Тотыққан Si пластинкасының үстіне механикалық бөлу арқылы алынған графен әдетте 10 000 $cm^2B-1c-1$ көрсетеді. Графен миллиметрлік шкала бойынша бөлме температурасында баллистикалық тасымалдауға қол жеткізе алады, тасымалдаушының қозғалғыштығы 100 000 $cm^2B-1c-1$ дейін. Егер графендегі сыртқы шашырау жойылса, электрон-фононның әлсіз әрекеттесуіне байланысты қозғалғыштық 200 000 $cm^2B-1c-1$ жетуі мүмкін [2]. 5 К төмен температурада Графен 230 000 $cm^2B-1c-1$ дейін тасымалдаушы қозғалғыштығын көрсетеді [3].

Графен сонымен қатар тамаша жылу және оптикалық қасиеттерге ие. Бөлме температурасында жылу өткізгіштік 5300 $WM-1K-1$ -ге дейін жетеді, ал моноқабаттың көрінетін жарықты сіңіру жылдамдығы небәрі 2,3% құрайды, бұл графеннің тамаша жылуды таратуы мен мөлдірлігін білдіреді [4, 5]. Графен – бір атомдық қабаттан тұратын көміртек заты, ал оның негізгі құрылымдық бірлігі – бензол алтымүшелі сақинасы, органикалық қосылыстардың ең тұрақты құрылымы, оның химиялық қасиеттерін өте тұрақты және жұқа етеді, тек теориялық мәні 0,35 нм [6]. Сонымен қатар, графенді құрайтын көміртегі жер бетінде мол элемент болып табылады және оның шикізаты оңай қол жетімді. Оның ерекше қасиеттері де бар (мысалы, бөлме температурасындағы кванттық ферромагнетизм және Холл эффектісі), сондықтан оны қолдану перспективасы кең.

Графен жақсы электрөткізгіштікке, кең әлеуетті терезеге және қарапайым көміртекті материалдар сияқты әртүрлі тотығу-тотықсыздану реакциялары үшін жоғары электрокаталитикалық белсенділікке ие, сонымен қатар кейбір нақты электрлік жұптар мен субстраттар үшін жоғары электрокаталитикалық өнімділікке ие. Сондықтан оны электрохимиялық электродтарды модификациялау материалдарында, биологиялық ақуыздар немесе ферменттер сияқты биологиялық макромолекулаларды емдеу үшін және арнайы биоэлектрохимиялық сенсорларды өндіру үшін кеңінен қолдануға болады. Сонымен қатар, графенді газ сенсоры ретінде пайдалануға болады. Бір жағынан, графеннің бірегей қабаттық құрылымы оған өте сезімтал сенсорларды жасау үшін қажет кең ерекше бет аймағын береді; Екінші жағынан, графеннің бірегей электрондық құрылымы белгілі бір газ молекулаларының адсорбциясы графеннің электрондық құрылымындағы өзгерістерді тудыруға мүмкіндік береді, нәтижесінде оның электр өткізгіштігінің жылдам және күрт өзгеруіне әкеледі.

Гетерогенді катализде көміртекті материалдар катализаторды тасымалдаушылар ретінде кеңінен қолданылады. Көміртекті қолдаудың құрылымы қолдау көрсетілетін катализатордың өнімділігіне үлкен әсер ететіндіктен, тұрақты 2D құрылымы бар графен қолдау көрсетілетін катализатор үшін тамаша үлгі болып табылады. Графеннің жақсы биоүйлесімділігі және үлкен бетінің ауданы оны дәрі-дәрмек тасымалдаушысы ретінде жоғары дәрілік жүктемені алуға мүмкіндік береді және дәрілік заттарды мақсатты тасымалдау және бақыланатын босату үшін пайдалануға болады. Графен көміртекті материалдар мен наноматериалдардың артықшылықтарын біріктіреді және sp² гибридизациясы оған ерекше қабатты құрылым береді, бұл оны шағын өлшемді әсерге, жақсы каталитикалық белсенділікке және үлкен меншікті бетке ие етеді, бұл батареялардың меншікті сыйымдылығын айтарлықтай жақсарта алады. Бұл энергия сақтау құрылғылары үшін электродтық материалдар ретінде жиі қолданылатын көміртекті материалдардың тамаша алмастырғышы. Оның дәстүрлі литий-иондық аккумуляторларда, отын ұяшықтарында және жаңа жасыл энергияны сақтау құрылғыларында (екінші батареялар мен суперконденсаторлар) қолдану перспективалары кең. Сонымен қатар, графеннің күн батареяларында болашағы зор. Индий қалайы оксиді (ITO) күн батареялары үшін электрод материалы ретінде кеңінен қолданылады, бірақ индий ресурсы өте аз. Графеннің ITO-ға ұқсас жоғары өткізгіштігі мен жарық өткізгіштігі және шикізатқа оңай қол жеткізуі бар, сондықтан ол ITO үшін әлеуетті ауыстыру материалы болып табылады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

FE графенді қажет етеді. FE дамытудың бастапқы мақсаты - жоғары аппараттық өнімділік, жоғары өңдеу жылдамдығы және басқа салаларда дәстүрлі кремний негізіндегі электроникамен бәсекелесу емес, икемділік пен икемділік сияқты бірегей артықшылықтары бар жаңа электронды құрылғылар мен өнімдерді арзан, ауқымды өндіруге қол жеткізу. «Чип сипаттамалары бар жоғары транзисторды, бірақ үлкен икемді субстраттармен төмен өлшемді өнімділікпен өндіру» тұжырымдамасы бойынша көміртекті наноарна материалдары икемді жұқа пленка транзисторларында (TFTs) тамаша өнімділікті көрсетеді, бұл икемді материалдар дәстүрлі электронды құрылғылардың өнімділік талаптарына жауап бере алады немесе тіпті одан да асып түседі, бұл FE технологиясының дамуына үлкен ықпал етеді. FE өнімдері өмір салтына

революциялық өзгерістер әкелу үшін жеткілікті және бүгінгі нарық оларға үлкен сұранысқа ие. Ол сонымен қатар жоғары талаптарды қояды және графен тамаша шешім болып табылады.

Сонымен қатар, графен икемді электрондар үшін тамаша материал болып табылады. Көміртекті наноматериалдың жаңа түрі ретінде графен тамаша механикалық, жылулық, электрлік және оптикалық қасиеттерге ие, бұл графенді икемді материалға деген сұранысқа толығымен сәйкес етеді: икемділік қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жақсы қолдау және иілу, жылуды тарату қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жоғары жылу өткізгіштік, дисплей қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жақсы жарық өткізгіштік. Графеннің FE-нің дәстүрлі материалдарына қарағанда үлкен артықшылықтары бар, ол FE өнімділігін айтарлықтай жақсарта алады және жаңа зерттеу бағытын басқара алады, сондықтан ол үлкен қолданбалы құндылыққа ие. Графен FE-де өткізгіш, жартылай өткізгіш немесе диэлектрлік материал болуы мүмкін. Арнайы қолданбаларға TFT, электродтар немесе энергия сақтау құрылғыларын, қатты субстраттардың орнына икемді өткізгіш пленка субстраттарын және баспа схемаларын жасау кіреді.

Графен FE өнімдерін дайындау үшін маңызды материал болып табылады және оның дамуы үшін көптеген прецеденттерге ие. Қолданыстағы зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, жартылай өткізгіш материал және өткізгіш материал ретінде графенді қолданудың нақты әдістері мен механизмі талқыланады, әртүрлі дайындау процестерінің сипаттамалары салыстырылады, кездесетін мәселелер талқыланады және даму бағытының перспективалары қарастырылады.

Теориялық тұрғыдан графен - тамаша электронды және жылуды тарату қасиеттері бар жартылай өткізгіш материал. Бөлме температурасында оның тасымалдаушы ұтқырлығы дәстүрлі жартылай өткізгіш материал кремнийінен әлдеқайда жоғары, тіпті индий антимониді және көміртегі нанотүтіктері сияқты жаңа идеалды жартылай өткізгіш материалдардан да жоғары. Меншікті кедергі мыс пен күміске қарағанда төмен, ал бөлме температурасындағы баллистикалық әсерге Фермидің үлкен жылдамдығымен және төмен жанасу кедергісі арқылы қол жеткізуге болады. Графен сондай-ақ тамаша жылу өткізгіштікке ие, кез келген белгілі материалдың ең жылуды тарататыны, алмаздан үш есе көп.

Дегенмен, практикалық қолдануда кейбір кедергілерді елемеу қиын. Біріншіден, графен нөлдік жолағы бар арнайы жартылай өткізгіш

болып табылады, онда өткізгіштік жолағы мен валенттік жолағы Бриллюэн аймағында қиылысады, бұл жолақты ашу мен жабуды қиындатады. Графенге жолақ аралықтары берілуі мүмкін болғанымен, қосу-өшіру қатынасын басқа заттарды адсорбциялау немесе допингтеу, қос қабатты графеннің симметриясын бұзу және кванттық шектеу мен шеттік әсерлерді қолдана отырып, арнайы құрылымдар жасау арқылы жақсартуға болады. Бұл түрлендіру әдістері пайдалану кезінде тұрақсыз өнімділікке және жолақ аралығының жоғалуына әкелуі немесе электр өткізгіштігін төмендетуі және олардың қолжетімділігін шектеуі мүмкін [11]. Екіншіден, кез келген көміртегі аралас металл қысқа тұйықталуларды оңай тудыруы мүмкін, ал графен күрделі тізбектерді құру қиын. Дайындаудың дәлдігі мен сәттілігіне байланысты процесс стандарттары мен өндіріс шығындары оны жаппай өндіріске және коммерциялық пайдалануға арналған зертханадан шығару үшін тым жоғары. Графен жартылай өткізгіш материал ретінде бірегей артықшылықтарына байланысты Мурдан кейінгі кремнийді алмастыруға үміткер материалдардың біріне айналды. Дегенмен, болашақта кремнийді негізгі микроэлектроника материалы ретінде ауыстыру үшін ұзақ мерзімді, терең зерттеулер қажет.

Қазіргі уақытта графен FE саласында жартылай өткізгіш материал ретінде біршама жетістіктерге жетті, негізінен TFT үшін қолданылады. TFT - бұл арнадан, диэлектрлік қабаттан, электродтан және субстратта жұқа пленка түрінде дайындалған субстрат материалынан тұратын далалық әсерлі түтік. Көзі, дренаж және дренаж әдетте металл материалдардан тұрады; Диэлектрлік материалдарға SiO_2 , Al_2O_3 сияқты диэлектрлік тұрақтылары әртүрлі окшаулағыш материалдар және полимерлі материалдар жатады. Субстрат материалдарына қатты (әйнек және кремний пластиналары сияқты) және икемді (полимерлі пластмассалар сияқты) субстраттар жатады. Graphene TFT арна материалы ретінде графен пленкасын пайдаланады, ол FE құрылғыларының сипаттамаларына сәйкес икемділік, жарық өткізгіштік және механикалық созылу талаптарына сәйкес келеді. Әдетте, графен дымқыл оюланған металл субстратпен бөлінеді. Процесс сөзсіз ластануды және графен пленкаларын зақымдайды, ал жоғары тасымалдау құны графеннің макроқолдануын шектейді. Гао және т.б. графенді платина субстратынан әртүрлі субстраттарға бұзбай тасымалдау үшін электрохимиялық Bubbling тасымалдау әдісін ойлап тапты. Зақымдалмаған платина субстратын графенді дайындау үшін қайта пайдалануға

болады, бұл үлкен аумақта серпіліс жасау және үздіксіз тасымалдау [12].

Келесі қадам - процеске сәйкес қатты фаза, сұйық фаза және газ фазасы ретінде жіктелуі мүмкін TFT құру. Қатты фазалық әдіс катализаторды қатты субстратта графенді өсіру үшін пайдаланады, содан кейін TFT жасау үшін оны пластикалық субстратқа береді. Дегенмен, дайындалған икемді құрылғылардың өлшемі қатты субстратпен шектеледі, бұл FE құрылғыларын кең ауқымды практикалық қолдану үшін жарамсыз. Әдетте, қалыпты қосулы транзисторды нөлдік кернеуде толығымен өшіру мүмкін емес, бұл қалыпты өшірілген транзисторға қарағанда көбірек энергия жоғалуына әкеледі. Газ-фазалық әдісте алдымен қалқымалы каталитикалық CVD синтезі қолданылады, содан кейін газ фазасы сүзгі пленкасы арқылы тікелей жиналып, транзисторлар жасау үшін субстратқа беріледі. Ол сұйық фазалық әдіспен өңдеу процесінде туындаған көміртекті наноматериалдардың ластануын және зақымдануын тиімді болдырмайды. Сонымен қатар оның артықшылығы қарапайым, жылдам, вакуумды емес бөлме температурасында жұмыс істеу, жақсы үздіксіздік және т.б., бұл ғылыми зерттеулер мен қолданудың маңызды бағыты болып табылады [13].

ҚОРЫТЫНДЫ

Графен алғаш рет ашылғанына 18 жыл болды және көптеген салаларда айтарлықтай ғылыми жетістіктерге қол жеткізілді. Ірі өндірістің енгізілуімен байланысты салалар бірте-бірте жетілді. Графеннің тамаша сипаттамаларының арқасында ол ұзақ уақыт бойы ғылыми зерттеулердің ыстық нүктесі болады. Кілт графеннің арзан, ауқымды және бақыланатын синтезін қалай қанағаттандыруға болатынында жатыр. Механикалық қабыршақтану болашақ индустрияландыру қажеттіліктерін қанағаттандыра алмайтыны анық; Тотығу-тотықсыздану әдісінің кристалдық тұтастығы мен электрондық құрылымына күшті тотықтырғыштар айтарлықтай зиян келтіреді, бұл оның микроэлектрондық құрылғыларда қолданылуын шектейді. Эпитаксиалды өсу және CVD үшін өндіріс ортасы, жабдықтың дәлдігі және басқа факторлар олардың ауқымды өндірісі мен қолдану әсерін айтарлықтай шектейді. Кез келген өндіріс әдісі адамдарды қанағаттандыру қиын, ал технологиялық инновациялар шұғыл қажет деп айтуға болады. Олардың бірі графеннің қасиеттерін зерттеп, оны дайындаудың мүлде жаңа тәсілдерін әзірлеу болып табылады. Екіншісі – әлеуеті бар дәстүрлі әдістерді ары

қарай зерттеп, жетілдіру. Қолданыстағы нәтижелер бойынша қосымша зерттеулердің өзі графеннің дамуын ілгерілетуі мүмкін. Мысалы, тотығу-тотықсыздану әдісі қанағаттанарлықсыз деп танылды, бірақ аралық өнім болып табылатын графен оксиді қазір аккумуляторлық мембраналар мен тұзсыздандыру сүзгілері сияқты қолданбалар үшін тамаша материал болып саналады. Графеннің тамаша қасиеттеріне толық мүмкіндік беру және оның қолдану өрістерін одан әрі кеңейту үшін функционалдық топтардың, сайттардың және функционалдық топтардың санын бақылау әдістері және құрылғылардан қажет емес функционалдық топтарды жою және графеннің қасиеттері мен құрылымын қалпына келтіру әдістері сияқты жаңа функционалдық әдістерді әзірлеу және жетілдіру қажет. Қазіргі уақытта графен күшті теориялық өнімділігі бар ыңғайсыз жағдайда, бірақ күтілетін практикалық қолдануға қол жеткізе алмайды және қысқа мерзімде кейбір салаларда техникалық серпіліс жасау оңай емес. Сонымен қатар, негізгі жетістіктердің көпшілігі зертханадан келеді; өндірістік шығындарға, дайындықтың сәтті жылдамдығына және басқа факторларға байланысты коммерциялық жаппай өндіріс алыс. Дегенмен, осы негізгі мәселелер шешілгеннен кейін, графенді қолдану перспективасы, сөзсіз, өте кең.

FEs технологиясы адамның өндірісі мен өміріне көптеген өзгерістер әкелетін электронды технологиядағы жаңа революцияға әкелетін әлеуетке ие. Графен өзінің тамаша қасиеттерінің арқасында FE саласында идеалды материалға айналды және жартылай өткізгіш және өткізгіш материалдар бағытында шексіз мүмкіндіктерге ие болды. Дегенмен, графен материалы органикалық жартылай өткізгіштерге және басқа материалдарға қарағанда жоғары тасымалдаушы қозғалғыштығы мен жақсы химиялық тұрақтылыққа ие болғанымен, оның нөлдік жолақ материалы ретіндегі табиғаты цифрлық интегралды схемаларда практикалық қолдануды табу қиын. Қарапайым, тиімді, бақыланатын процестердің және салыстырмалы түрде арзан дайындау әдістерінің болмауына байланысты тек өнеркәсіптік өндіріс тұрғысынан графен мен дәстүрлі электронды өнімдер арасында үлкен алшақтық бар. Дегенмен, графен басып шығару электроникасымен және басқа технологиялармен, The Times және технологиялық прогреспен біріктіріліп, оның теориялық артықшылықтарын ойнайды және әлеуметтік ақпарат пен интеллекттің дамуына ықпал етеді деп болжауға болады. Графенді FE-де өткізгіш материал ретінде қолдану практикалық.

Соңғы жылдары OLED және күн қабылдағыш материалдары сияқты дәстүрлі электронды құрылғыларды алмастыратыны байқалды, ал икемді мөлдір өткізгіш материалдар осы салада ыстық қолданбаға айналады. FE өнімдерімен үйлесімді икемді литий батареялары дами береді. Икемді графен электродтарының жақсартылған механикалық қасиеттеріне сүйене отырып, олардың жоғары деформацияланғыштығы әртүрлі күрделі күш қолданбаларына бейімделу, негізгі электродтар мен диафрагма материалдары болу және ақырында жылдам зарядтауға қол жеткізу үшін одан әрі дамытылады.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар осы зерттеуді жүргізу, мақаланы дайындау және жариялау барысында қаржылық, ғылыми немесе жеке мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): Авторлардың үлесін көрсету (таксономия CRediT): С. Кулидан – зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, ғылыми әдебиеттерді талдау, зерттеу жүргізу, нәтижелерді жүйелеу, мақаланың бастапқы нұсқасын дайындау. А.Қ. Қасымова – зерттеу әдіснамасын жетілдіру, нәтижелерді талдау және интерпретациялау, мақаланы ғылыми редакциялау, қорытындыларды қалыптастыру. M.S. Seref – ғылыми кеңес беру, зерттеу нәтижелерін тексеру (validation), материалдың ғылыми мазмұнын сараптау, мақаланы рецензиялау және соңғы редакциялауға қатысу. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны жариялауға мақұлдады және зерттеу нәтижелерінің дұрыстығы мен сенімділігі үшін ортақ жауапкершілік алады.

Қаржыландыру. Зерттеу сыртқы қаржыландырусыз орындалды.

Алғыс. Авторлар зерттеуді жүргізуге қолдау көрсеткені үшінкой официальной поддержки не было, этот раздел можно вообще не включать, так как в большинстве журналов Қарағанды индустриялық университетіне және Стамбульский техникалық университетіне алғыс білдіреді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЭБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Lee, X., Wei, X., Kisar, J. W., Hon, J. Graphene and its electronic properties // *Science*. — 2008. — Vol. 321. — P. 385–388.
- [2] Mayorov, A. S., et al. Micrometer-scale ballistic transport in encapsulated graphene at room temperature // *Nano Letters*. — 2011. — Vol. 11. — P. 2396–2399.
- [3] Bolotin, K. I., Sykes, K. J., Kim, P., Stormer, H. L. Ultrahigh electron mobility in suspended graphene // *Solid State Communications*. — 2008. — Vol. 146, No. 9–10. — P. 351–355.
- [4] Balandin, A. A., Ghosh, S., Bao, V., Calizo, I., Teveldebran, D., Miao, F., Lau, S. N. Superior thermal conductivity of single-layer graphene // *Nano Letters*. — 2008. — Vol. 8. — P. 902–907.
- [5] Nair, R. R., Blake, P., Grigorenko, A. N., Novoselov, K. S., Booth, T. J., Stauber, T., Perez, N. M., Geim, A. K. Fine structure constant defines visual transparency of graphene // *Science*. — 2008. — Vol. 320. — P. 1308.
- [6] Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V., Firsov, A. A. Electric field effect in atomically thin carbon films // *Science*. — 2004. — Vol. 306. — P. 666–669.
- [7] Tromp, R. M., Hannon, J. B. Thermodynamics and kinetics of graphene growth on metal surfaces // *Physical Review Letters*. — 2009. — Vol. 102. — P. 106104.
- [8] Obratsov, A. N. Chemical vapour deposition: making graphene on a large scale // *Nature Nanotechnology*. — 2009. — Vol. 4. — P. 212–213.
- [9] Hu, Y., Jin, X., Zhang, R., Wu, P., Cai, C. Graphene-based electrochemical sensors and biosensors // *Physical Chemistry Chemical Physics*. — 2010. — Vol. 26. — P. 2073–2086.
- [10] Huang, W. Application of graphene in printed electronics // *Screen Printing Industry*. — 2016. — No. 1. — P. 60–61.
- [11] Luo, X., Yu, G. Graphene-based materials for electronic and optoelectronic applications // *Chemistry of Materials*. — 2022. — Vol. 34. — P. 3588–3615.
- [12] Gao, L., et al. Repeated growth and bubbling transfer of graphene with millimetre-size single-crystal grains // *Nature Communications*. — 2012. — Vol. 3. — P. 699.
- [13] Wang, B., Sun, D. Preparation technologies and applications of graphene materials in printed circuit boards // *Printed Circuit Board Information*. — 2013. — Vol. 12. — P. 41–53. Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.
- [14] Wen, L., Chen, J., Luo, H., Li, F. Progress in graphene-based flexible electronic devices // *Chinese Science Bulletin*. — 2015. — Vol. 7. — P. 630–644.

REFERENCES

- [1] Lee, X., Wei, X., Kisar, J. W., Hon, J. Graphene and its electronic properties // *Science*. — 2008. — Vol. 321. — P. 385–388.
- [2] Mayorov, A. S., et al. Micrometer-scale ballistic transport in encapsulated graphene at room temperature // *Nano Letters*. — 2011. — Vol. 11. — P. 2396–2399.
- [3] Bolotin, K. I., Sykes, K. J., Kim, P., Stormer, H. L. Ultrahigh electron mobility in suspended graphene // *Solid State Communications*. — 2008. — Vol. 146, No. 9–10. — P. 351–355.
- [4] Balandin, A. A., Ghosh, S., Bao, V., Calizo, I., Teveldebran, D., Miao, F., Lau, S. N. Superior thermal conductivity of single-layer graphene // *Nano Letters*. — 2008. — Vol. 8. — P. 902–907.
- [5] Nair, R. R., Blake, P., Grigorenko, A. N., Novoselov, K. S., Booth, T. J., Stauber, T., Perez, N. M., Geim, A. K. Fine structure constant defines visual transparency of graphene // *Science*. — 2008. — Vol. 320. — P. 1308.
- [6] Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V., Firsov, A. A. Electric field effect in atomically thin carbon films // *Science*. — 2004. — Vol. 306. — P. 666–669.
- [7] Tromp, R. M., Hannon, J. B. Thermodynamics and kinetics of graphene growth on metal surfaces // *Physical Review Letters*. — 2009. — Vol. 102. — P. 106104.
- [8] Obratsov, A. N. Chemical vapour deposition: making graphene on a large scale // *Nature Nanotechnology*. — 2009. — Vol. 4. — P. 212–213.
- [9] Hu, Y., Jin, X., Zhang, R., Wu, P., Cai, C. Graphene-based electrochemical sensors and biosensors // *Physical Chemistry Chemical Physics*. — 2010. — Vol. 26. — P. 2073–2086.
- [10] Huang, W. Application of graphene in printed electronics // *Screen Printing Industry*. — 2016. — No. 1. — P. 60–61.
- [11] Luo, X., Yu, G. Graphene-based materials for electronic and optoelectronic applications // *Chemistry of Materials*. — 2022. — Vol. 34. — P. 3588–3615.
- [12] Gao, L., et al. Repeated growth and bubbling transfer of graphene with millimetre-size single-crystal grains // *Nature Communications*. — 2012. — Vol. 3. — P. 699.
- [13] Wang, B., Sun, D. Preparation technologies and applications of graphene materials in printed circuit boards // *Printed Circuit Board Information*. — 2013. — Vol. 12. — P. 41–53. Using AI Methods," *Power Electronics and Drives*, vol. 11, no. 1, pp. 111–127, 2026, doi: 10.2478/pead-2026-0006.
- [14] Wen, L., Chen, J., Luo, H., Li, F. Progress in graphene-based flexible electronic devices // *Chinese Science Bulletin*. — 2015. — Vol. 7. — P. 630–644.