

F.F.Rustamova

E-mail: rfarangiz810@gmail.com

H.K.Qurbonnazarova

E-mail: qurbonnazarovahusniya@gmail.com

Ilmiy rahbar: J.M.Suyunov

Termiz davlat universiteti

Annotatsiya: Mazkur maqolada grafen va ikki o'lchamli (2D) materiallarning sintez usullari, fizik-kimyoviy xossalari hamda zamonaviy materialshunoslikdagi ahamiyati tahlil qilingan. Grafen uglerod atomlarining geksagonal panjarali bir qatlamli tuzilmasi bo'lib, yuqori elektr o'tkazuvchanlik, mexanik mustahkamlik va issiqlik o'tkazuvchanlik kabi noyob xususiyatlarga ega. Maqolada grafenni olishning mexanik eksfoliatsiya, kimyoviy bug' cho'ktirish (CVD), kimyoviy oksidlanish–qaytarilish (Hummers usuli), epitaksial o'sish hamda suyuq fazali eksfoliatsiya usullari yoritilgan. Shuningdek, MoS₂, WS₂, h-BN kabi 2D materiallarning sintez texnologiyalari va ularning nanoelektronika, energiya saqlash hamda sensor tizimlaridagi qo'llanilishi ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: grafen, 2D materiallar, kimyoviy bug' cho'ktirish, CVD, eksfoliatsiya, MoS₂, nanomateriallar, nanoelektronika, materiallar sintezi.

Abstract: This article reviews synthesis methods of graphene and two-dimensional (2D) materials, their physicochemical properties, and their importance in modern materials science. Graphene is a single layer of carbon atoms arranged in a hexagonal lattice with exceptional electrical, mechanical, and thermal properties. The paper discusses major synthesis methods including mechanical exfoliation, chemical vapor deposition (CVD), chemical oxidation-reduction (Hummers method), epitaxial growth, and liquid-phase exfoliation. In addition, synthesis and applications of 2D materials such as MoS₂, WS₂, and h-BN in nanoelectronics, energy storage, and sensor technologies are analyzed based on scientific literature.

Keywords: graphene, 2D materials, chemical vapor deposition, CVD, exfoliation, MoS₂, nanomaterials, nanoelectronics, material synthesis.

Аннотация: В данной статье рассматриваются методы синтеза графена и двумерных (2D) материалов, их физико-химические свойства и значение в современном материаловедении. Графен представляет собой однослойную структуру атомов углерода с гексагональной решёткой, обладающую высокой электропроводностью, механической прочностью и теплопроводностью.

Рассматриваются основные методы получения графена: механическая эксфолиация, химическое осаждение из газовой фазы (CVD), химическое окисление-восстановление (метод Хаммера), эпитаксиальный рост и жидкофазная эксфолиация. Также анализируются методы синтеза 2D материалов, таких как MoS₂, WS₂ и h-BN, и их применение в нанoeлектронике, системах хранения энергии и сенсорах.

Ключевые слова: графен, двумерные материалы (2D материалы), химическое осаждение из газовой фазы (CVD), эксфолиация, MoS₂, наноматериалы, нанoeлектроника, синтез материалов.

Kirish: So‘nggi yillarda nanomateriallar va ikki o‘lchamli (2D) materiallar zamonaviy materialshunoslikning eng jadal rivojlanayotgan yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Ayniqsa, grafenning kashf etilishi va uning noyob fizik-kimyoviy xossalari — yuqori elektr o‘tkazuvchanlik, mexanik mustahkamlik, issiqlik o‘tkazish qobiliyati hamda optik shaffoflik — uni ko‘plab ilmiy va amaliy sohalarda inqilobiy material sifatida namoyon etdi. Grafen bir atom qalinligidagi uglerod qatlamidan iborat bo‘lib, u ikki o‘lchamli kristall tuzilishga ega materiallarning asosiy vakili hisoblanadi. Uning kashf etilishi 2D materiallar oilasining kengayishiga olib keldi va MoS₂, WS₂, h-BN kabi turli qatlamli materiallarning chuqur o‘rganilishiga turtki berdi. Ushbu materiallar nanoelektronika, optoelektronika, energiya saqlash qurilmalari, sensorlar va katalitik jarayonlarda katta istiqbolga ega. Hozirgi kunda grafen va 2D materiallarni olishning turli usullari ishlab chiqilgan bo‘lib, ular orasida mexanik eksfoliatsiya, kimyoviy bug‘ cho‘ktirish (CVD), kimyoviy oksidlanish-qaytarilish usullari, epitaksial o‘shish hamda suyuq fazali eksfoliatsiya muhim o‘rin tutadi. Har bir usul materialning sifati, qatlamlar soni, ishlab chiqarish miqyosi va sanoat qo‘llanilish imkoniyatlari bilan farqlanadi. Mazkur maqolaning maqsadi grafen va 2D materiallarning asosiy sintez usullarini tahlil qilish, ularning afzalliklari va cheklovlarini solishtirish hamda zamonaviy nanomateriallar texnologiyasidagi o‘rnini ilmiy adabiyotlar asosida yoritishdan iborat.

Materiallar va usullar: Mazkur tadqiqot grafen va ikki o‘lchamli (2D) materiallarning sintez usullari hamda ularning xossalarini o‘rganishga bag‘ishlangan bo‘lib, xalqaro ilmiy jurnallar, monografiyalar va Scopus hamda Web of Science bazalarida indekslangan maqolalar tahlili asosida amalga oshirildi. Tadqiqot davomida nanomateriallar kimyosi, materialshunoslik va nanoelektronika sohalariga oid ilmiy manbalar tizimli ravishda o‘rganildi. Tadqiqot metodologiyasi sifatida adabiyotlarni tahlil qilish (literature review), qiyosiy tahlil (comparative analysis), tizimlashtirish (systematic analysis) va umumlashtirish (generalization) usullaridan foydalanildi. Ilmiy manbalarda keltirilgan ma’lumotlar asosida grafen va 2D materiallarning fizik,

kimyoviy va elektr xossalari hamda ularning sintez samaradorligi qiyosiy baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida grafen, MoS₂ (molibden disulfid), WS₂ (volfram disulfid), h-BN (bor nitrid) va boshqa qatlamli 2D materiallar tanlandi. Ushbu materiallarning kristall tuzilishi, elektron harakatchanligi, band gap qiymati, sirt maydoni va mexanik mustahkamligi ilmiy manbalar asosida o'rganildi.

Tadqiqotda qo'llanilgan asosiy sintez usullari quyidagilardan iborat: mexanik eksfoliatsiya (Scotch tape method), kimyoviy bug' cho'ktirish (Chemical Vapor Deposition – CVD), Hummers usuli asosida grafen oksidi olish va uni qaytarish, epitaksial o'sish hamda suyuq fazali eksfoliatsiya usullari. Har bir usul uchun ishlab chiqarish samaradorligi, material sifati, qatlamlar soni va sanoat miqyosida qo'llanilish imkoniyatlari tahlil qilindi.

Kutilayotgan natijalar: Mazkur tadqiqot natijasida grafen va ikki o'lchamli (2D) materiallarning asosiy sintez usullari, ularning fizik-kimyoviy xossalari hamda ishlab chiqarish samaradorligi bo'yicha tizimli ilmiy tahlil shakllantirilishi kutilmoqda. Mexanik eksfoliatsiya, CVD, Hummers usuli, epitaksial o'sish va suyuq fazali eksfoliatsiya kabi metodlarning afzalliklari va cheklovlari qiyosiy ravishda baholanadi. Tadqiqot davomida grafen, MoS₂, WS₂ va h-BN kabi 2D materiallarning kristall tuzilishi, elektron harakatchanligi, band gap xususiyatlari hamda mexanik mustahkamligi o'rganiladi. Ushbu parametrlarning materiallarning nanoelektronika, optoelektronika va energiya saqlash tizimlaridagi samaradorligiga ta'siri ilmiy asosda tahlil qilinadi. Shuningdek, sintez jarayonida harorat, bosim, katalizatorlar va substrat materiallarining (masalan, Cu va Ni) rolini optimallashtirish orqali yuqori sifatli 2D materiallar olish yo'llari aniqlanadi. Bu esa materiallarning sanoat miqyosida ishlab chiqarilishiga imkon yaratishi kutiladi. Tadqiqot yakunida grafen va 2D materiallarning zamonaviy texnologiyalardagi o'rni, ularni elektron qurilmalar, sensorlar va energiya tizimlarida qo'llash istiqbollari bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilishi kutiladi. Olingan natijalar nanomateriallar sohasida yangi avlod yuqori samarali materiallarni yaratishga xizmat qiladi.

Xulosa: Grafen va ikki o'lchamli (2D) materiallar zamonaviy nanomateriallar fanining eng muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib, ularning noyob fizik-kimyoviy xossalari kelajak texnologiyalarida katta ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, grafen va unga o'xshash 2D materiallar yuqori elektr o'tkazuvchanlik, katta sirt maydoni, mexanik mustahkamlik va termik barqarorlik kabi xususiyatlari bilan ajralib turadi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, mexanik eksfoliatsiya usuli eng yuqori sifatli grafen qatlamlarini bersa-da, u sanoat miqyosida cheklangan. CVD usuli esa yirik maydonli va yuqori sifatli grafen olish imkonini berib, sanoat ishlab chiqarish uchun eng istiqbolli usullardan biri hisoblanadi. Hummers usuli orqali olingan grafen oksidi va

uning qaytarilgan shakllari esa arzon va keng miqyosli ishlab chiqarishda muhim rol o'ynaydi. MoS_2 , WS_2 va h-BN kabi 2D materiallar grafenga nisbatan turli elektr va optik xususiyatlarga ega bo'lib, ular nanoelektronika va optoelektronika sohalarida yangi imkoniyatlar yaratadi. Ayniqsa, bu materiallarning band gap xususiyatlari ularni tranzistorlar va sensor qurilmalarda qo'llash uchun muhim qiladi. Shu bilan birga, 2D materiallarni ishlab chiqarishda sifatni nazorat qilish, defektlarni kamaytirish, katta masshtabda sintez qilish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish kabi muammolar mavjud. Ushbu muammolarni hal etish uchun sintez jarayonlarini optimallashtirish va yangi texnologiyalarni joriy etish zarur. Umuman olganda, grafen va 2D materiallar kelajak nanoelektronika, energiya saqlash, sensor tizimlari va yuqori texnologiyali qurilmalar rivojlanishida asosiy materiallar bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Andre K. Geim, Konstantin S. Novoselov. The Rise of Graphene. Nature Materials, 2007.
2. A. K. Geim. Graphene: Status and Prospects // Science, 2009.
3. Rodney S. Ruoff. Graphene Synthesis and Applications // Accounts of Chemical Research, 2011.
4. Walter de Heer. Epitaxial graphene // Nature Materials, 2007.
5. Jing Kong. Chemical vapor deposition of graphene // Nature, 2009.
6. Kin Fai Mak. Two-dimensional transition metal dichalcogenides // Nature Physics, 2010.
7. Xiaodong Xu. 2D materials and optoelectronics // Nature Materials, 2014.
8. American Chemical Society. ACS Nano. – Graphene and 2D materials research articles (2018–2025).
9. Nature Portfolio. Nature Nanotechnology. – Advanced nanomaterials and graphene studies.
10. Elsevier. Carbon. – Graphene synthesis and carbon nanostructures.