

Дәріс 13. Көміртекті аэрогельдер, олардың түрлері: РФ негізіндегі аэрогельдер, КНТ негізіндегі аэрогельдер, графен негізіндегі аэрогельдер, КНТ және графен негізіндегі гибриді аэрогельдер, алмаз негізіндегі аэрогельдер, биомасса негізіндегі аэрогельдер, қасиеттері, қолдану аясы

Аэрогельдер – ашық ұяшықтары бар бұралған құрылым, ультражіңше ұяшық/кеуек өлшемі <50 нм, жоғары беттік ауданы $400-1100$ м²/г болатын және өзара байланысқан диаметрлері 10 нм болатын бөлшектер мен талшықты тізбектерден тұратын коллоид тәрізді қатты матрица.

Негізінен, металл алкоксидтерінің золь-гельді полимерленуінен алынатын бейорганикалық аэрогельдер кеңінен таралған. Бейорганикалық аэрогельдер золь-гель әдебиетінде 60 жылға жуық болғанымен, көміртегі негізіндегі аэрогельдер нанокеуекті материалдардың салыстырмалы түрде жаңа класы болып келеді.

1985 жылы Х. Крото, Р. Смолли және Р. Керл көміртекті наноматериалдардың алғашқысы фуллерендерді ашқан соң оларға деген қызығушылық пайда бола бастады. Одан кейін 1991 жылы С. Идзима нанотүтікшелерді, 2004 жылы А. Гейм мен К. Новоселов графенді ашып, олардың қасиеттерін сипаттағаннан кейін наноматериалдардың қолданылу аясы көбейді. Осы кезден бастап наноматериалдардың басқа құрылымдарын да зерттеуге назар аударылды. 1990 жылы Р. Пекала [1] ойлап тапқан көміртегі негізіндегі аэрогельдер энергияны сақтау, катализ, сүзу сияқты бірқатар технологиялар үшін қажет ететін бірнеше бірегей қасиеттерге ие болды [2]. Соның ішінде бірінші жұмыстардың бірі резорцинол-формальдегидпен (РФ) болды. РФ-ті органикалық аэрогельдердің ең алғаш зерттелген түрі деп санауға болады. Шамамен отыз жыл бұрын жасалған бұл материал формальдегидпен резорцинол (1,3-дигидроксибензол) су поликонденсациясынан алынған. Алынған гелдер қара қызыл түске ие және мөлдір болған. Радиожиілікті аэрогельдер жоғары байланысқан хош иісті полимерден тұратындықтан, олар инертті атмосферада пиролизденіп, әйнек тәрізді көміртек түзеді [3]. Осыдан кейін көміртекті нанотүтікше (КНТ) негізіндегі аэрогель туралы М. Брайнинг 2007 жылы [4] жариялады. Көп ұзамай 2009 жылы Д. Ванг [5] графен негізіндегі аэрогельдің алғашқы синтезі туралы хабарлаған болатын. Ақырында, аэрогельді зерттеулер барлық белгілі көміртегі аллотроптарын, соның ішінде тек нанотүтікше немесе графен негізіндегі аэрогельдерді ғана емес, сонымен қатар 2011 жылы П. Паузауски [6] алмаз негізіндегі аэрогельдерді алды. Көміртекті аэрогельдердің тағы бір маңызды түрі биомассадан алынған көміртекті аэрогельдер болып табылады. Себебі, прекурсорлар ретінде мұнай өнімдерін қолданатын көміртекті аэрогельдердің басқа түрлеріне қарағанда биомасса негізіндегі аэрогельдер биомассаны немесе биомасса қалдықтарын пайдаланады, сондықтан олар экологиялық таза және үнемді болып келеді [7].

Көміртегі негізіндегі аэрогельдерге деген қызығушылық жылдан жылға арта түсуде және бұның бірнеше себептері бар. Біріншіден, көміртек өте жеңіл элемент, сондықтан одан жасалған материалдар өте төмен тығыздыққа ие болуы мүмкін. Мысалы, кремнеземді аэрогельдер ұзақ уақыт бойы (тығыздығы ~ 1 мг/см³) «әлемдегі ең жеңіл материал» атағын иеленсе де, жақында көміртегі негізіндегі аэрогельдер бұл рекордты (тығыздығы 200 мг/см³-тен төмен) жаңартты. Екіншіден, көміртегі негізіндегі аэрогельдер жоғары беттік аудандарға ие болып келеді [2]. Барлық жағдайларда көміртегі негізіндегі аэрогельдер өздерінің жоғары бетінің ауданын ($400-1200$ м²/г [8]) және ультражіңше ұяшық/кеуек өлшемін (<100 нм) сақтайды [9]. Шын мәнінде, нанотүтікшелер мен графен негізіндегі аэрогельдер әдетте 500 -ден 1000 м²/г асатын беттік ауданды көрсетеді, ал белсендірілген көміртегі негізіндегі аэрогельдердің беттік аудандары 3000 м²/г-нан асады [2]. Қасиеттері наноқұрылыммен ерекше байланыста болғандықтан, оларды қатаң бақылау арқылы оңай басқаруға болады [8]. Үшіншіден, олардың механикалық қасиеттері (Юнг модулі, сығылғыштығы және т.б.) бейорганикалық аэрогельдерден жоғары [2].

Көміртекті аэрогель түрлері

Көміртекті аэрогельдердің қолданылған көміртек материалына байланысты негізгі 6 түрге бөліп қарастыруға болады. Олар РФ негізіндегі көміртекті аэрогель, КНТ негізіндегі аэрогель, графен негізіндегі аэрогель, графен және КНТ негізіндегі гибриді көміртекті аэрогель, алмаз негізіндегі аэрогель және биомасса негізіндегі аэрогельдер.

Әдебиеттер тізімі:

- [1] Pekala R.W., Alviso C.T., LeMay J.D. (1990) Organic aerogels: microstructural dependence of mechanical properties in compression. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 125(1-2):67–75. doi:10.1016/0022-3093(90)90324-f.
- [2] Worsley M.A., Baumann T.F. (2018) Carbon Aerogels. In: Klein L., Aparicio M., Jitianu A. (eds) *Handbook of Sol-Gel Science and Technology*. Springer, Cham. 3339–3374. doi:10.1007/978-3-319-32101-1_90.
- [3] Alviso C.T., Pekala R.W., Gross J., Lu X., Caps R., Fricke J. (1996) Resorcinol-Formaldehyde and Carbon Aerogel Microspheres. *MRS Proceedings*, 431:521-525. doi:10.1557/proc-431-521.
- [4] Bryning M.B., Milkie D.E., Islam M.F., Hough L.A., Kikkawa J.M., Yodh A.G. (2007) Carbon nanotube aerogels. *Advanced Materials*, 19(5):661–664. doi:10.1002/adma.200601748.
- [5] Wang J., Ellsworth M. (2009) Graphene aerogels. *ECS Transactions*, 19(5):241-247. doi:10.1149/1.3119548.
- [6] Pauzauskie P.J., Crowhurst J.C., Worsley M.A., Laurence T.A., Kilcoyne A.L.D., Wang Y., Satcher, J.H. (2011) Synthesis and characterization of a nanocrystalline diamond aerogel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21):8550–8553, № 108(21):8550–3, doi:10.1073/pnas.1010600108 .
- [7] Sam D.K., Sam E.K., Durairaj A., Lv, X., Zhou Z., Liu J. (2020) Synthesis of biomass-based carbon aerogels in energy and sustainability. *Carbohydrate Research*, 491:107986. doi:10.1016/j.carres.2020.107986.
- [8] Al-Muhtaseb S.A., Ritter J. A. (2003) Preparation and Properties of Resorcinol-Formaldehyde Organic and Carbon Gels. *Advanced Materials*, 15(2):101–114. doi:10.1002/adma.200390020.
- [9] Pekala R.W., Farmer J.C., Alviso C.T., Tran T.D., Mayer S.T., Miller J.M., Dunn B. (1998) Carbon aerogels for electrochemical applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 225:74–80. doi:10.1016/s0022-3093(98)00011-8 .