



ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛ

Нуман цахилалтын аргаар усан орчинд нүүрстөрөгчийн нано хоолой гарган авах урьдчилсан судалгаа

Р. Уламбаяр*, Б. Даваабал, Г. Оюун-Эрдэнэ, Ж. Тэмүүжин

Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс.

*E-mail: ulambayarr@mas.ac.mn

Хүлээн авсан: 19.10.2020

Хянасан: 21.11.2020

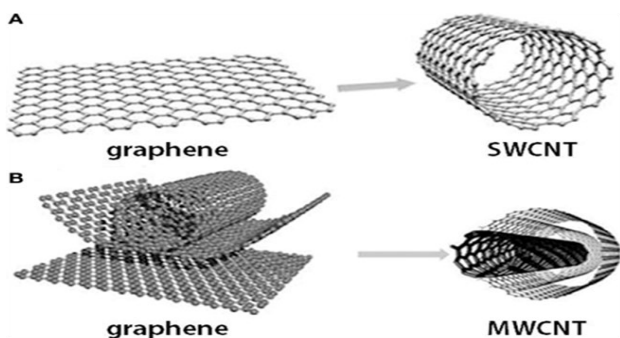
Хэвлэлтэнд авсан: 27.11.2020

Хураангуй: Нүүрстөрөгчийн нано хоолойг хэрэглээнээс хамаарч физик, хими, анагаах ухаан, компьютер гэх зэрэг салбаруудад эрчимтэй судлаж байна. Иймээс ч өндөр чанартай олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойг бага зардлаар их хэмжээтэй, гарган авах арга техникийг хөгжүүлэх нь нэн чухал юм. Бид бага зардлаар нүүрстөрөгчийн нано хоолойг хялбараар гарган авах судалгааг явууллаа. Нэрмэл ус бүхий зузаан тунгалаг хуванцар саванд бал чулуун хоёр электродыг босоо хэлбэртэй байрлуулан хооронд нь хувьсах гүйдлийн нуман цахилалт цахилуулан нүүрстөрөгчийн нано хоолойг гарган авсан. Энэхүү төхөөрөмж нь энгийн хялбар хийцтэй бөгөөд ус нь тусгаарлагч орчин болж, системийг хөргөдөг. Гарган авсан нүүрстөрөгчийн хөөнд рентген дифракцийн (XRD) болон нил улаан туяаны спектрийн (FTIR) шинжилгээг техникийн олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойтой харьцуулан хийж гүйцэтгэсэн. Эдгээр шинжилгээгээр олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой туршилтын явцад үүссэн болохыг баталлаа.

Түлхүүр үг: Нуман цахилалт, нүүрстөрөгчийн нано хоолой, графен, графит (бал чулуу)

ОРШИЛ

Нано технологиор нарийн төвөгтэй атом молекулын хэмжээтэй нано бүтцийг бүтээдэг. Нано хэмжээ гэдэг нь метрийн тэр бум хуваасан хэмжээ (10^{-9} м) юм. Нүүрстөрөгчийн нано хоолойг анх 1991 онд доктор Сумио Ижима цахилгаан нумын арга ашиглан синтезлэн гарган авсан байдаг [1]. Нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь олон өвөрмөц шинж чанартай бөгөөд тухайлбал, бат бөх болон цахилгаан дамжуулах чанар өндөртэй, дулаан тэлэлтийн коэффициент бага г.м. Нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь графены хавтгай хуудсаар бүтээгдсэн байдаг ба тодорхой температурт нанометрийн хэмжээний диаметр бүхий ороомог хоолойг үүсгэдэг [2,3]. Синтезийн аргаас хамаарч дан ханатай (SWCNTs), давхар ханатай (DWCNTs) болон олон давхар хана (MWCNTs) бүхий нүүрстөрөгчийн нано хоолойнууд үүсдэг [4].

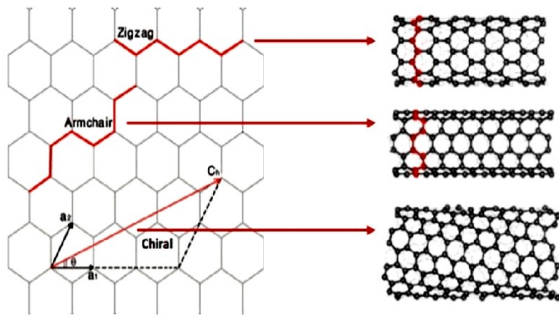


Зураг 1. Графин ба нүүрстөрөгчийн нано хоолойнууд: (A) нэг ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой (SWCNT) ба (B) олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой (MWCNT) бүтэц үүсэх загвар [5]

Нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь 100 нм-ээс бага диаметртэй, урт нь хэдэн микрометр хэмжээтэй байдаг. Дан ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь графены нэг давхаргаас ороомог болон үүсэх ба энэ нь 2 төгсгөлдөө хаалттай болон нээлттэй байж болно (*Зураг 1(A)*). Дан ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойд нүүрстөрөгчийн атом нь гексагонал орон тортой байх ба дан болон давхар холбоо нь sp^2 эрлийзжилтээс бүрдсэн байдаг.

Олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь хэд хэдэн дан ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойнуудын давхацсан бүтэцтэй байдаг (*Зураг 1(B)*). Нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь синтезийн аргаас хамаарч янз бүрийн орон зайн бүтцийг үүсгэдэг. Өөрөөр хэлбэл, графены нүүрстөрөгчийн 6 талт холбооны симметрийн тэнхлэгтэй ямар өнцгөөр хуйлав гэдгээс хамаарч эрс тэс өөр шинж чанартай хоолойнууд үүсдэг бөгөөд гурван төрлийн ялгаатай байрлалыг үүсгэснийг зургаар үзүүлэв (*Зураг 2*). Үүнд: Түшлэгтэй сандал шиг хэлбэртэй (*Armchair*), зиг заг шиг хэлбэртэй (*Zig Zag*), чирал хэлбэртэй (*Chiral*). Түшлэгтэй сандал шиг хэлбэртэй нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь металл шинж чанартай бол нөгөө 2 нь хагас дамжуулагч шинж чанартай байдаг.

Нүүрстөрөгчийн нано хоолойг синтезлэн гарган авахад өргөн хэрэглэдэг аргуудад цахилгаан нуман цахилалтын арга, химийн ууршуулалтын арга, лазер зүсэлтийн аргууд ордог [7–10]. Эдгээр аргууд нь их хэмжээтэй бүтээгдэхүүн гарган авахад хүндрэлтэй



Зураг 2. Графины хуудсыг хэрхэн хуйлахаас хамаарч 3 хэлбэрийн нүүрстөрөгчийн nano хоолой үүсгэдэг болохыг харуулсан бүдүүвч [6]

бөгөөд хөрөнгө оруулалт болон үйл ажиллагааны зардал өндөртэй мөн бүтээгдэхүүний гарц бага юм. Нүүрстөрөгчийн nano хоолой гарган авах эдгээр аргуудаас нуман цахилалтын аргыг судлаачид практикт хэрэглэдэг. Өндөр чанартай нүүрстөрөгчийн nano хоолой гарган авахад вакуум орчинд нуман цахилалтын аргыг ашигладаг [11].

Сүүлийн үед нүүрстөрөгчийн nano хоолойг шингэн азот болон ионгүйжүүлсэн усан орчинд нуман цахилалтын аргаар гарган авах судалгаа судлаачдын анхаарлыг ихээр татаж байна [12-13]. Усан орчинд нуман цахилалтын аргаар нүүрстөрөгчийн nano хоолой гарган авах нь эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй, хялбар арга юм.

Мөн үйлдвэрлэлийн өртөг зардлыг хямдруулах нэг арга бол үнэтэй графит, бал чулууны оронд байгалийн нүүрс хэрэглэх юм. Битумэн нүүрс ба калийн шүлтийн хольцыг пиролизод оруулан ННХ болон идэвхжүүлсэн нүүрсний хольцыг гарган авсан байна [14]. Пиролизын аргаар гарган авсан нүүрсэн электрод (annealed coal) ашиглан нуман цахилалтын аргаар нэг болон олон ханатай нүүрстөрөгчийн nano хоолой, графен гарган авах судалгаа хийгдсэн [15] боловч цэвэршилт төдийлөн өндөр биш байсан.

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь хувьсах гүйдлийн цахилгаан нуман цахилалтын аргаар энгийн хялбар тоног төхөөрөмж ашиглан усан орчинд олон ханатай нүүрстөрөгчийн nano хоолой гарган авах юм.

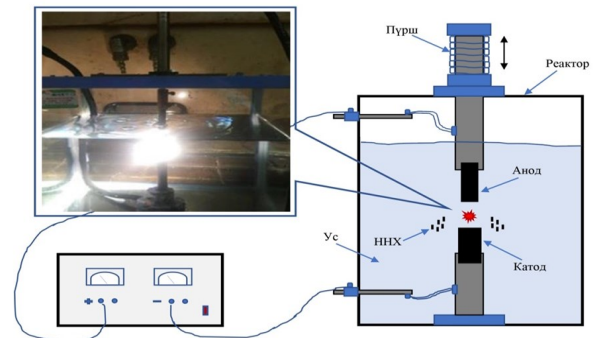
СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Бид туршилтанд 100 мм урттай 8 мм болон 10 мм диаметртэй графитан саваа ашигласан. Графит савааны физик үзүүлэлтийг үйлдвэрлэгчийн дагалдах паспортоос авсныг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Графит савааны физик үзүүлэлт

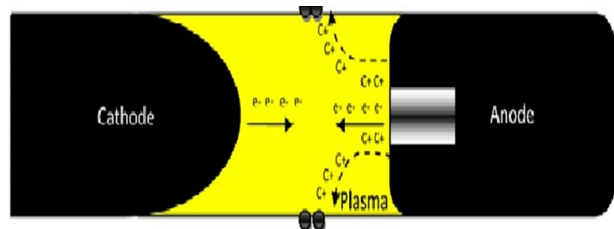
Эзэлхүүн жин	Хувийн эсэргүүцэл	Дулаан дамжуулалт (100 ⁰ C)	Дулаан тэлэлтийн коэффициент (Т/температур 600 ⁰ C)	Хатуулаг	Шахалтын баг бөх	Уян харимхайн модуль	Нух сүвний хэмжээ	Үнс	Цэвэр үнс	Мөхлөгийн хэмжээ
г/см ³	Мил Ом	W/m.k	10 ⁻⁶ / ⁰ C	HSD	МПа	ГПа	%	мг/г	мг/г	Микрон
1.82	8-11	121.1	5.46	50	65	9	17	0.5	0.05	13-15

Туршилтанд графитан катод болон анодыг зузаан тунгалаг хуванцар савандбосоо хэлбэртэй байрлуулан тогтоогоод нэрсэн усаар савыг тодорхой түвшинд дүүргээд хувьсах гүйдлийн нуман аппаратанд холбосон. Аппаратыг асааж анодыг дээрээс нь пүршээр шахах замаар нуман гүйдлийг үүсгэхийн тулд ойролцоогоор 1 мм-ийн зайтай байрлуулж туршилтыг явуулсан болно (Зураг 3). Анод, катодын хооронд өдөөх хүчдэл нь 16 V байв. Хоёр электродын хооронд нум цахилалт үүсэх үед хар өнгийн хөө тортог нь урвалын саванд байгаа усанд бүх чиглэлд цацагдана.



Зураг 3. Усан орчинд олон ханатай нүүрстөрөгчийн nano хоолой гарган авахад ашигласан цахилгаан нуман реакторын бүдүүвч

Катодоос тасралтгүй ялгарах электрон нь анодыг их хурдтайгаар бөмбөгддөг. Катодын гүйдлийн нягт анодынхоос бага байдаг тул катодын диаметр нь ихэвчлэн анодын диаметрээс их байдаг. Электродууд дээрх температур өсөхөд нүүрстөрөгч нь хуурай нэрэгдэх ба үүний үр дүнд нүүрстөрөгчийн nano хоолой үүсдэг. Хувьсах гүйдлийн цахилгаан нуман цахилалтын үед электрод дээрх гүйдэл нь үе үе өөрчлөгдөх ба электродууд дээр тунадас үүсэх нь ажигладаггүй. Нүүрстөрөгчийн уур нь плазм дахь дулааны



Зураг 4. Хувьсах гүйдлийн нуман цахилалтаар нүүрстөрөгчийн nano хоолой үүсэх нь [16]

нөлөөгөөр дэгдэж савны хананд нүүрстөрөгчийн нано хоолой үүсдэг (Зураг 4) байна.

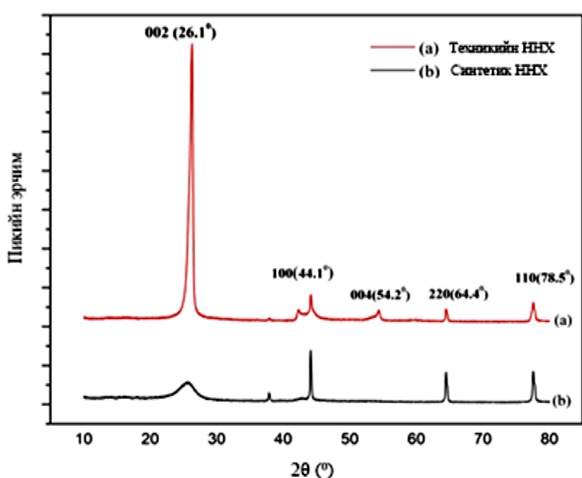
Катод болон анодыг ойролцоогоор 1 мм-ийн зайд тусгаарлах үед 80 А тогтмол гүйдлээр туршилтыг гүйцэтгэсэн. Үүссэн бүтээгдэхүүнийг ялган авахдаа 1.8л эзэлхүүнтэй усыг нь кварцан гэрлээр 7 хоногийн туршид шарж ууршуулаад хатаах шүүгээнд 100°C-д 24 цаг хатаагаад 500°C-д дулааны боловсруулалт хийж нүүрстөрөгчийн нано хоолойн дээж бэлтгэсэн.

Гарган авсан бүтээгдэхүүнд рентгендифракцийн (XRD) шинжилгээг (Maxima_X-7000 дифрактометр Japan, Shimadzu) багаж, нил улаан туяаны спектрийн (FTIR) шинжилгээг (IRPrestige-21 Shimadzu, Japan) багажаар хийхдээ техникийнолон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолой (Tanfang Tech.Inc China) –той харьцуулан судалсан. Нано хоолойн гарц нь 82% хувь байв.

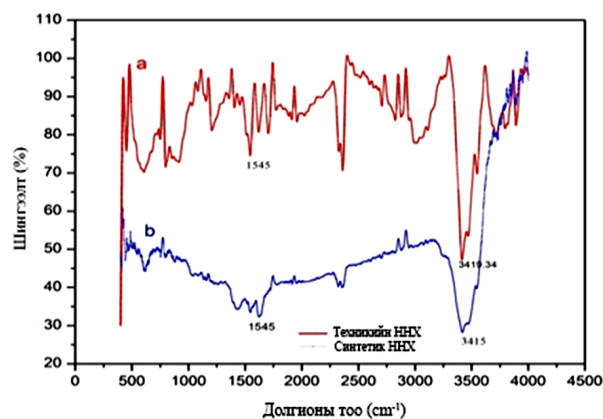
ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Рентгендифракцийн (XRD) шинжилгээ: Зураг 5-д нуман цахилалтын аргаар гарган авсан хөө болон техникийн олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойн рентген дифрактограммын зургийг үзүүлэв. Зургаас харахад нуман цахилалтын аргаар гарган авсан нүүрстөрөгчийн нано хоолойн дифрактограмм нь техникийн олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойн дифрактограммын зурагтай адил төстэй байв.

Нүүрстөрөгчийн нано хоолой нь $2\theta = 26.1^\circ, 44.1^\circ, 54.2^\circ, 64.4^\circ, 78.8^\circ$ дифракцийн хурц пикүүдийг үзүүлэх ба харгалзах ойлтын талбай нь 002, 100, 004, 220, 110 бөгөөд зургаан өнцөгт графитын шинж чанарыг үзүүлж байв. Олон ханат нүүрстөрөгчийн нано хоолойн рентген дифрактограммын 26.1° -т гарах эрчим нь зэргэлдээх



Зураг 5. Рентген дифрактограмм: (a) Техникийн нүүрстөрөгчийн нано хоолой, (b) нуман цахилалтын аргаар усан орчинд синтезлэн гарган авсан нүүрстөрөгчийн нано хоолой



Зураг 6. Нил улаан туяаны спектрограмм: (a) Техникийн нүүрстөрөгчийн нано хоолой, (b) нуман цахилалтын аргаар усан орчинд синтезлэн гарган авсан нүүрстөрөгчийн нано хоолой

бал чулуун үеүүдийн хоорондох (002) ойлтын талбай буюу үе хоорондын зайг илэрхийлнэ гэж үздэг. Бидний нийлэгжүүлэн гаргасан олон ханат нүүрстөрөгчийн хоолойн бал чулууны үе хоорондын 002 ойлтын талбай эрчим султай байгаа нь нүүрстөрөгчийн үеүүд жигд нэг тал руу харсны баталгаа юм [17]. Синтезлэн гарган авсан нүүрстөрөгчийн нано хоолойн рентген дифрактограммын пикүүд нь техникийн олон ханатай нүүрстөрөгчийн нано хоолойн дифрактограммын пикүүдтэй давхцаж байгаа нь тухайн бүтээгдэхүүнийг гарган авсаныг батлан харуулж байна.

Нил улаан туяаны спектрийн (FTIR) шинжилгээ: Синтезлэн гарган авсан нүүрстөрөгчийн нано хоолой болон техникийн нүүрстөрөгчийн нано хоолойн нил улаан туяаны шингээлтийн спектрууд нь мөн төстэй байв (Зураг 6).

Нүүрстөрөгчийн нано хоолойн гол эрчимтэй пик нь 1545 см^{-1} долгионы орчим C=C холбооны хэлбэлзэл байдаг. Энэ нь нүүрстөрөгчийн sp^2 эрлийзжилтээс гаралтай юм. Мөн түүнчлэн 3415 см^{-1} мужид шингээлтийн өргөн пик үзүүлэх ба энэ нь CH_x группуудад хамаардаг бөгөөд стандарт болгон харьцуулсан үйлдвэрийн нано хоолой болон бидний нийлэгжүүлсэн нано хоолойд ижилхэн мужид шингээлт өгч байгаа нь энэхүү 2 нано хоолой хоорондоо бүтцийн хувьд адилхан болохыг илтгэж байна.

Эдгээр нано хоолойг шинжилгээний өөр төрлийн багажаар тухайлбал электрон микроскопоор судлах судалгаа хийгдэхээр бэлтгэгдэж байна.

Бидний судалгаагаар манай орны нөхцөлд тохирсон хямд бөгөөд хялбар аргаар орчин үеийн хамгийн сонирхол татаж буй судалгааны объектын нэг болох нүүрстөрөгчийн нано хоолойг нийлэгжүүлж болох нь урьдчилсан байдлаар тогтоогдоод байна.

ДҮГНЭЛТ

Рентгендифракцийн (XRD) болон нил улаан туяаны спектрийн (FTIR) шинжилгээний үр дүн нь нийлэгжүүлэлтийн явцад олон ханат нано хоолой үүссэн болохыг харуулж байна. Усан орчинд цахилгаан нуман цахилгалтын аргаар нүүрстөрөгчийн нано хоолой гарган авахад үнэтэй шатаах зуух, вакуум битүүмжлэл бүхий сав шаардлагагүй тул үйл ажиллагааны зардлыг бууруулдаг. Энэхүү судалгаанд ашигласан арга техник нь нүүрстөрөгчийн нано хоолой гарган авахад хямд өртөгтэй, энгийн хялбар хийцтэй бөгөөд манай орны нөхцөлд анх удаа уг аргаар нүүрстөрөгчийн нано хоолой нийлэгжүүлэх боломжтой нь тогтоогдлоо.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. S. Iijima. (1991) Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature* 354 (6348). p.56–58.
2. S. Iijima, Nature Publishing Group, *Lett. To Nat.* 353.199.1 p. 737-740.
3. A. Jorio, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus. (2008) Carbon Nanotubes. 111. Springer Berlin Heidelberg, Berlin. *Book*.p 4-5.
4. G. Kaufmann, Y.R. Sun. (2018) Production of multi-wall carbon nanotubes starting from a commercial graphite Pencil using an electric arc discharge in aqueous medium. *Materials Science*. 46. p.152.
5. V. Ruxandra, M. Rahman. (2014) Nanostructures: A Platform for Brain Repair and Augmentation. *Frontiers in Systems Neuroscience*. 8. p.87-91.
6. M. Rahmandoust, A. Öchsner. (2012) Buckling Behaviour and Natural Frequency of Zigzag and Armchair Single-Walled Carbon Nanotubes. *Journal of Nano Research*.16. p.153–160.
7. S. Arepalli. (2004) Laser ablation process for single-walled carbon nanotube production. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 4. p. 317–325.
8. Ç. Öncel, Y. Yürüm. (2006) Carbon nanotube

- synthesis via the catalytic CVD method: a review on the effect of reaction parameters. *Journal of Fullerenes Nanotubes Carbon Nanostructure*. 14. p.17–37.
9. M. Kumar, Y. Ando. (2010) Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanism and mass production, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 10. p. 3739–3758.
 10. Y. Ando, X. Zhao. (2006) Synthesis of carbon nanotubes by arc-discharge method. *New Diamond. And Frontier Carbon Technology*. 16 (3). p.123–137.
 11. M. Keidar, A. M. Waas. (2004) On the conditions of carbon nanotube growth in the arc discharge. *Nanotechnology* 15. p.157-159.
 12. Y. Kim, E. Nishikawa, T. Kioka. (2009) An underwater arc discharge method of CNT production using carbon electrode physical vibration, *Journal of Plasma and Fusion*
 13. X. Gang, J. Shen-Li, SH, Zong-Qian. (2007) The production of carbon nano-materials by arc discharge under water or liquid nitrogen. *New Carbon Materials*. 22(4). p.337–341.
 14. X. Lv, T. Zhang, Yu. Luo, Yo. Zhang, Yi. Wang, G. Zhang. (2020) Study on carbon nanotubes and activated carbon hybrids by pyrolysis of coal. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.p.146.
 15. S. Awasthi, K. Awasthi. (2015) Formation of single and multi-walled carbon nanotubes and grapheme from Indian bituminous coal. *Fuel*. 147. p.35-42.
 16. N. Arora, N.N. Sharma. (2014) Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review. *Diamond & Related Materials* 50. p.135-150.
 17. A. Aqel, K.M.M. Abou El-Nour, R.A.A. Ammar, A. Al-Warthan. (2012) REVIEW: Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*. 5, p.1–23.

Preliminary results on the preparation of carbon nanotubes using arc discharge in water medium

R. Ulambayar*, B. Dawaabal, G. Oyun-Erdene, J. Temuujin

Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia.

*E-mail: ulambayarr@mas.ac.mn

Received: 19.10.2020

Revised: 21.11.2020

Accepted: 27.11.2020

Abstract: Depending on the application, carbon nanotubes are being intensively studied in physics, chemistry, medicine, and computers. Therefore, it is important to develop large-scale high-quality multi-walled carbon nanotubes production at low cost. We here conducted a study on the easy preparation of low-cost carbon nanotubes. Two graphite electrodes were placed vertically in a thick, clear plastic container with distilled water to produce a carbon nanotube with an alternating current arc. The device has a simple design and the water acts as an insulating medium and cools the system. X-ray diffraction (XRD) and infrared spectrum (FTIR) analysis of the obtained carbon soot was performed in comparison with technical multi-walled carbon nanotubes. These tests confirmed that the multi-walled carbon nanotubes were formed during the experiment.

Keywords: *Arc discharge, carbon nanotubes, graphene, graphite*

© The Author(s). 2020 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i8.1474>