

## Олон Ханатай Нүүрстөрөгчийн Нанохоолойн Парамагнит Чанар

Л.Баярчимэг<sup>1,2</sup>, Э.М.Шпилевский<sup>3</sup>, В.Ф.Стельмах<sup>3</sup>, Р.Галбадрах<sup>1</sup>, Г.Шилагарди<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Онол туршилагын тэнхим, Физик электроникийн сургууль, МУИС

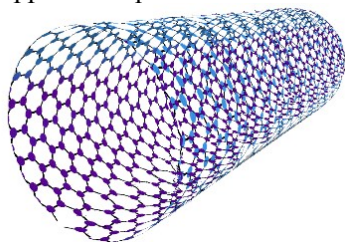
<sup>2</sup>-Физик, технологийн хүрээлэн, ШУА

<sup>3</sup>- Беларуссын их сургууль, Минск

*Нанохоолойгоор чанаржсан композит материалын онцгой шинж чанар юуны өмнө түүний парамагнит чанараас хамаарахаас гадна нанохоолойнуудын гадаргуу ба задгай төгсгөл дээрх сул унжсан, тасархай холбоосын тоо парамагнит төвийн концентрацаар тодорхойлогдоно. Бид туршилагаар, нанохоолой бүхэнд парамагнит төвийн концентрац хамгийн их байх температурын муж олдох ба энэ температурт нанохоолойгоор чанаржсан композиц материалыг буй болгох хамгийн тохиромжтой нөхцөл бүрэлдэнэ хэмээн тогтоов.*

### I. ОРШИЛ

Графитын атомын хавтгайг тодорхой тэнхлэгийг тойруулан ороож үйлдсэн шулуун цилиндр хэлбэртэй нүүрстөрөгчийн атомуудаас тогтсон бүтцийг нанохоолой гэнэ(1-р зураг). Нүүрстөрөгчийн нанохоолойг задгай ба битүү хэмээн ангилахаас гадна нэг ханатай, хоёр ханатай, олон ханатай байж болно. Ямар ч тохиолдолд хануудын хоорондох зай 0,35нм орчим байх ба нүүрстөрөгчийн атомууд дугуй цилиндрийн гадаргуу дээгүүр зөв зургаан өнцөгтийг үүсгэн байрлана.



1-р зураг. Нэг төгсгөл нь битүү нүүрстөрөгчийн нанохоолой

Дан ханатай нанохоолойн зоны бүтэц, диаметр ба нанохоолойн мушгиралтын өнцгөөс хамаарна. Нүүрстөрөгчийн нанохоолой мушгиралтын өнцгөөсөө хамаарч дамжуулагч буюу хагас дамжуулагчийн аль нэг нь байж болно. Гаднын соронзон орны үйлчлэлээр хагас дамжуулагч нанохоолойн хаалттай зоны өргөнийг өөрчилж болох ба тэр байтугай бүр дамжуулагч болгон хувиргаж чадна. Калий ба бромор чанаржсан нүүрстөрөгчийн нанохоолойн дамжиц 300<sup>0</sup>К температурд цэвэр нанохоолойнхоос бараг 30 дахин[1] их байх ажээ.

Нүүрстөрөгчийн нанохоолой маш уян хатнаас гадна баг бөх байдаг. Тэдгээрийн Юнгийн модуль 6.40-3,7ТПа[2] байна. Тусгаар атом, молекулууд ба кристалл бүтцийн аль

алинаас ялгаатай нанохоолойн физик шинж чанар тэдгээрийнхээс тэс өөр юм.

Нанохоолой агуулсан композиц материалууд урьд өмнө илрээгүй онцгой физик шинж чанартайгаас гадна шинжилгээ, судалгаа

ба практик хэрэглээний хэт ирээдүйтэй тул физик, химийн судалгааны гол объект болоод байна[3,4].

Нанохоолойгоор чанаржсан композит материалын онцгой шинж чанар юуны өмнө түүний парамагнит чанараас хамаарна. Яагаад гэвэл судлагдаж байгаа дээжийн доторх нанохоолойнуудын гадаргуу ба задгай төгсгөл дээрх сул унжсан, тасархай холбоосын тоо парамагнит төвийн концентрацаар тодорхойлогдоно. Тэдгээр нь гетероатомтой холбоотой нанохоолойнуудыг агуулсан композит материалын идэвхитэй төвүүд болох юм. Иймээс бид хамгийн олон тооны парамагнит төвийг агуулсан зохимжтой температурын мужийг тодорхойлох оролдлого хийлээ.

### II. ТУРШИЛТ ЯВУУЛАХ АРГАЧЛАЛ

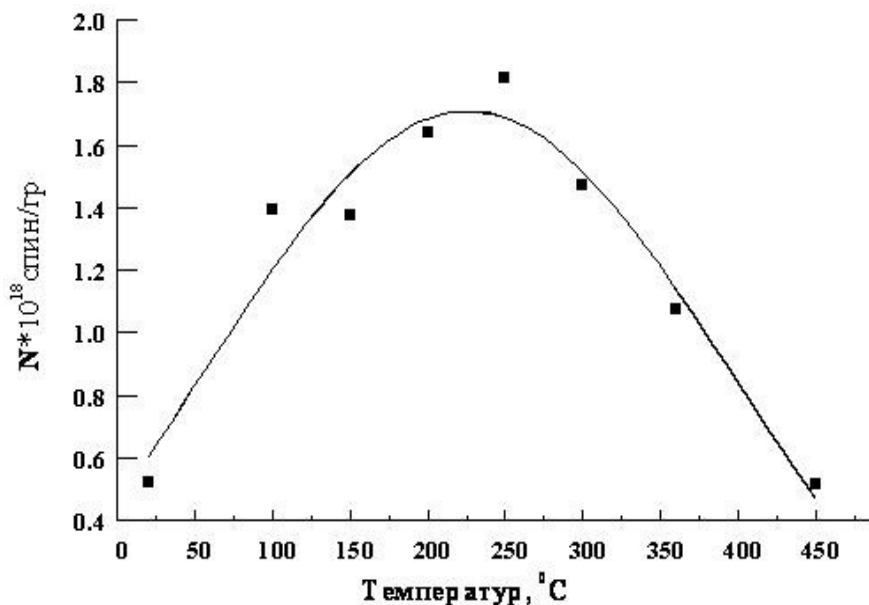
Судалгааны дээж болгон 1мкм урттай олон давхар ханатай нүүрстөрөгчийн нанохоолойг сонгон авч, түүнийгээ нарийхан кварцан хоолой дотор агуулж, цилиндр хэлбэртэй цахилгаан халаагч бүхий цахилгаан пийшингийн дунд хэсэгт байрлуулан, дээжийн температурыг цагаан алт ба цагаан алт-родийн хайлшаар үйлдсэн термохосын тусламжтай хэмжлээ. Изохрон халаалтын температурыг  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ -ийн нарийвчлалтай тохируулж, халаалт явуулах температур бүхэнд 20минут байлган, тасалгааны температурт ЭПР спектрийг нь бүртгэлээ. Изохрон халаалтыг 0-450<sup>0</sup>С температурын интервалд явуулж, парамагнит

төвийн концентрацийг нүүрсний эталонтой харьцуулан тодорхойлов. Спектр шугамын өргөсөлтийг багасгахын тулд модуляцийн амплитудыг 0,2 Гс-аас ихгүй байлгав.

### Ш. ТУРШЛАГЫН ҮР ДҮН БА ДҮГНЭЛТ

Изохрон халаалт явуулахад гарсан үр дүнг ашиглан байгуулсан парамагнит төвийн концентрац ба температурын хамаарлыг 2-р зурагт үзүүлээ. Графикаас үзвэл, изохрон халаалтын температур ихсэх дутам парамагнит төвийн концентрац өссөөр байгаад 200-300<sup>0</sup>С-ын температурын орчим мужид хамгийн их

утгандаа хүрч, температурыг цааш өсгөхөд буурч 400-450<sup>0</sup>С температурын интервалд хамгийн бага утгандаа хүрч байна. Ингэхлээр тодорхой температурын интервал бүхэнд тодорхой тооны парамагнит төвүүд өдөөгдөх ба харин их ба бага температурын мужид тэдгээрийн концентрац бага байна. Өндөр температурын мужид дулааны энергийн улмаас спин-торын харилцан үйлчлэл давамгайлж эхлэх тул, голцуу парамагнит төв “унтрах” процесс явагдах ба температурыг цааш ихэсгэхэд тэдгээр нь бүрмөсөн алга болно.



2-р зураг. Олон давхар ханатай нанохоолойн парамагнит төвийн концентрац температураас хамаарах

Туршлагаас үзвэл, нанохоолой бүхэнд парамагнит төвийн концентрац хамгийн их байх температурын муж олдоно. Энэ температурын мужид нанохоолойн гадаргуу ба задгай төгсгөлүүдэд гетероатомуудыг өөртөө нэгтгэх чадвартай тасархай холбоостой атомууд асар их байх учир нанохоолойгоор чанаржсан композиц материалыг буй болгох хамгийн тохиромжтой нөхцөл бүрэлдэн тогтоно.

#### Ном зүй

1. Lee.R.S, Kim.H.J., Fischer.J.M., Thess.A.,Smalley.R.E.,//*Nature*.(1997) .Vol. 388. No6622. P-255-257.
2. Ebbeson.T.W., Gibson.J.M.,//*Nature* .(1996). Vol. 381. No. 6384. P.678-691.
3. Гусев.А.И. //УФН. (1998). Т.168.№1.С. 55-83.
4. Бухтияров.В.И., Слинко.М.Э.,*Успехи химии*. (2001). Т.70, №2.с.167-179.