

ФУЛЛЕРЕНЭЭР ЧАНАРЖСАН МЕТАЛЛЫН ЦАХИЛГААН БА ТЕНЗОЦАХИЛГААН ЧАНАР

Ц.Хандмаа^{1*}, Э.М. Шпилевский^{2**}, М.Э.Шпилевский^{2**}, И.И. Васильев^{2**}, Г.Шилагарди^{1*},
Д.Төмөрбаатар^{1*}, Х.Цоохүү^{1*}, Д.Эрдэнэбаатар^{1*}, Р.Нямдулам^{1*}

1. Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар

2. Институт тепло и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь.

* e-mail: handmaa_04@yahoo.com

** e-mail: eshpilevsky@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

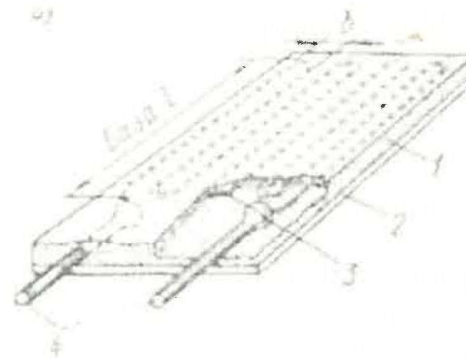
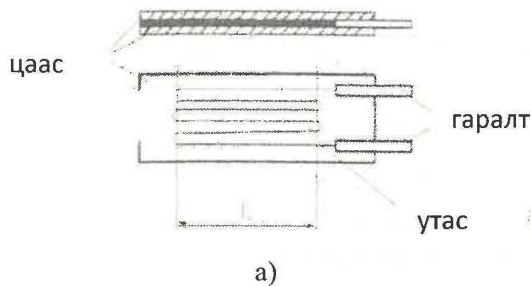
Тензочувствительности γ , тензорезистора из тонкой металлической пленки на основе меди и титана, модифицированных фуллеренами в зависимости от их толщины изменяется в предлох 3-97. Применимость тензорезистора зависит от величины деформации и типа металла.

ОРШИЛ

Механик хүчлэгийн үйлчлэлээр буй болсон цахилгаан сигналыг хувиргах зориулалттай багажыг тензохувиргагч гэнэ. Тензохувиргагчийг нарийхан металл утас буюу хагас дамжуулагч бодисоор үйлдэнэ. Аливаа дамжуулагчид механик хүчлэг үйлчлэхэд үүссэн харьцангуй деформацийг ($\Delta l/l$), түүний эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлтөд ($\Delta R/R_0$) харьцуулсан хэмжигдэхүүнийг уул материалын тензомэдрэх чадвар (γ) гэнэ:

$$\gamma = (\Delta l/l) / (\Delta R/R_0) \quad (1)$$

Эдүгээ хүртэл тензохувиргагчийг 0,02-0,04 мм диаметртэй нарийнхан металл утсыг тор хэлбэртэй болгон эвхэж, нимгэн цаасан тууз дээр тусгай цавуугаар нааж, хоёр төгсгөлд нь 0,15-0,30 мм диаметртэй гаралтын утсуудыг гагнаж, дээгүүр нь тамхины нимгэн цаас нааж бэхжүүлэх аргаар үйлдэж байлаа. Бэлэн болсон тензохувиргагчаа судлах объектынхоо эд анги дээр нааж бэхлээд, деформацаас болж үүсэх эсэргүүцлийн өөрчлөлтийг тогтмол ба хувьсах гүйдлийн гүүрээр хэмжинэ. 1-р зурагт утсан тензохувиргагчийн бүтцийн загвар (а) ба гадаад дүрсийг (б) харууллаа.



1-р зураг. а) тензохувиргагчийн ерөнхий бүтэц, б) тензохувиргагчийн гадаад дүрс хэлбэр

Доорх хүснэгтэд өргөн хэрэглэгддэг зарим тензохувиргагчийн параметруудийг сийрүүлэн бичлээ.

1-р хүснэгт

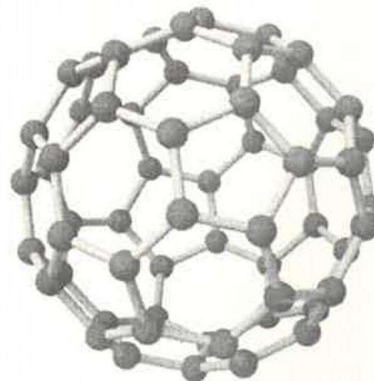
| Параметрууд | Зарим хайлшийн параметрууд | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| | Константан 60Cu+40Ni | Маганин 84Cu+12Mn ⁺ +4Ni | Нихром 80Ni+20Cr |
| Тензомэдрэмжийн коэффициент, γ | 1,9...2,1 | 0,5 | 2,1...2,3 |
| Хувийн эсэргүүцэл ρ , ом·мм ² /м | 0,46...0,52 | 0,4...0,45 | 0,9 ...1,7 |
| Эсэргүүцлийн температурын коэффициент K , 10^{-6} град ⁻¹ | $\approx 30(100^{\circ}\text{C}$ хүртлэх мужид) | ≈ 10 | 150 ...170 |

Алтан утсаар үйлдсэн тензорезисторын тензомэдрэмж $\gamma=1,6$ хүрдэг байна. Дээр дурьдсанаас үзвэл, тензорезисторын мэдрэмжийг цааш ихэсгэхийн тулд металаас өөр материал сонгон авах нь ирээдүйтэй байж болох юм. Энэ зорилгоор бид фуллерен буюу нанохоолойгоор чанаржсан металлын нимгэн хальсыг судалгааны объект болгон сонгон авлаа.

ФУЛЛЕРЕНЭЭР ЧАНАРЖСАН МЕТАЛЛЫН НИМГЭН ХАЛЬСНЫ ЦАХИЛГААН БА ТЕНЗОЦАХИЛГААН ЧАНАР

Оройнуудаар нь нүүрстөрөгчийн атом байрласан зөв таван ба зургаан өнцөгтүүдээс тогтох бөмбөрцөг хэлбэртэй макро молекулыг фуллерен гэх бөгөөд C_{60} хэмээн тэмдэглэнэ. C_{60} молекул огтлогдсон икосаэдр хэлбэртэй, 20 зөв зургаан өнцөгт, 12 зөв таван өнцөгтөөс тогтоно. Энэ молекул маш өндөр симметртэй. Фуллерен нь түүний харилцан эсрэг орших 6 хос таван өнцөгтийн төвийг дайрсан таван ширхэг тавдугаар эрэмбийн симметрийн тэнхлэгтэй (L_5). Кристаллографид урд өмнө ийм симметрийн элемент байгаагүй. Фуллерены атом жин 720, нягт $\rho=1,72$ г/см³, диаметр $d=0,7$ нм юм. Нанометр хэмжээтэй фуллерены молекулыг синтезлэн гарган авснаас хойш нано хэмжээтэй бөөмс агуулсан материалуудыг наноматериал, ийм материалтай холбоотой

судалгааг нанотехнологи хэмээн онцлон нэрлэж заншжээ. Үнэндээ наноматериалын судалгаа микро түвшинд явагдаж байгаа бусад материал судлалаас онцгойлон ялгагдах илүү юмгүй билээ (2-р зураг).

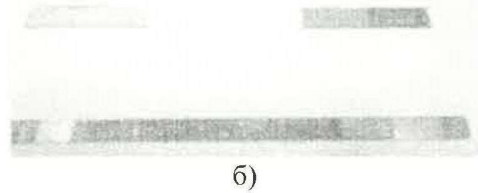
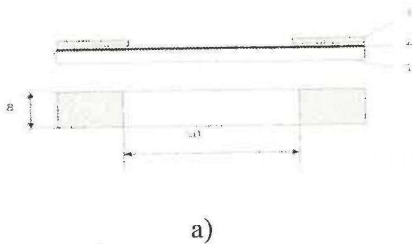


2-р зураг. Фуллерены молекул C_{60}

Нанотехнологи хөгжих фуллереныг гарган авах технологи сайжрахын хирээр амьдралд өргөн хэрэглэдэг зэс, никель, титан зэрэг металлийг фуллеренээр чанаржуулж, урьд өмнө байгаагүй онцгой физик шинж чанартай металл-фуллерений композиц материалыг гарган авдаг болжээ. [1].

Бидний судалгааны гол зорилго бол металл-фуллерений композиц материалын нимгэн хальсыг гарган авч түүний тензомэдрэмжийг хуучин классик аргаар гарган авсан тензорезисторын тензомэдрэмжтэй харьцуулан

үзэж тодорхой дүгнэлт хийхэд оршино. Металл-фуллерений нимгэн хальсыг (Cu-C_{60} , Ti-C_{60}) металл ба фуллереныг 10^{-4} Па даралттай вакуумын орчинд ууршуулж тунгалаг оптик шилэн дээр суулгах аргаар гарган авлаа. Фуллеренууд 700°K –с, ихэнх металл 1200°K –с эхлэн уурших тул хоорондоо үл хамаарах 2 ууршуулагчийг хэрэглэв. Гарган авсан дээжийн загвар ба зургийг 3-р зурагт дүрслэн үзүүлээ.



3-р зураг. а) 1-тунгалаг оптик шил, 2- металл-фуллерены нимгэн хальс, 3-кантактууд, б) нимгэн хальсны гадаад хэлбэр дүрс

Нимгэн хальсны зузаан d , дээж доторх металлын атом ба фуллерены молекулын тоог [2] ажилд хэрэглэсэн аргаар, харин харьцангуй деформацийг дээжийн голд ачаа дүүжлэхэд үүсэх махийлт λ -г $0,01\text{мм}$ -ийн нарийвчлалтай индикаторыг ашиглан хэмжиж тодорхойлов.

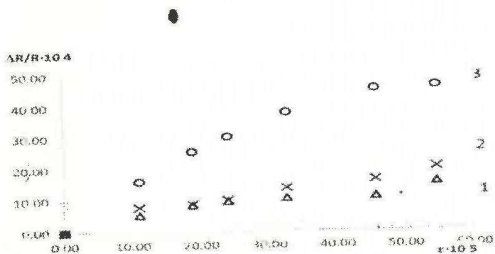
ТУРШЛАГЫН ҮР ДҮН БА ТҮҮНИЙГ ШҮҮН ТУНГААХ

Фуллеренээр чанаржуулсан зэс ба титаны нимгэн хальсны тензомэдрэмжийн коэффициент γ нимгэн хальсны зузаан, дээж доторх металлын атом ба фуллерены молекулын тоон харьцаа $N_{\text{Me}}/N_{\text{C}_{60}}$ -ээс хэрхэн хамаарахыг үзүүлсэн туршлагын үр дүнг доор сийрүүлэн бичлээ.

2-р хүснэгт

| Дээж | $N_{\text{me}}/N_{\text{C}_{60}}$ | D, нм | R, Ом | $\rho, \text{МОм} \cdot \text{см}$ | γ |
|--------------------|-----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|----------|
| Cu-C ₆₀ | 190 | 406 | 2.4 | 36.1 | 3 |
| | 80 | 345 | 3.2 | 148 | 3.4 |
| | 40 | 170 | 11.8 | 267 | 3.7 |
| | 20 | 210 | 34.2 | 957 | 14 |
| | 10 | 10 | 104 | 109 | 97 |
| Ti-C ₆₀ | 166 | 270 | 775 | 33.5 | 2.8 |
| | 80 | 300 | 1294 | 62 | 3.7 |
| | 43 | 360 | 2181 | 126 | 14 |
| | 20 | 10 | 104 | 109 | 92 |

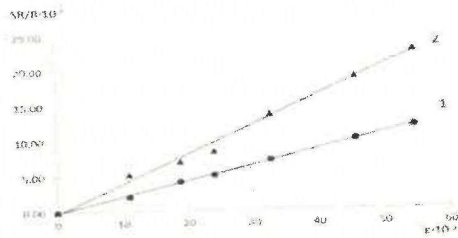
Туршлагын үр дүнгээс харвал, дээжийн доторх фуллерены молекулын харьцангуй тоо ихсэх ба нимгэн хальсны зузаан багасахын хирээр түүний тензомэдрэмж ажиглагдахуйц хэмжээгээр ихсэж байна. Металл-фуллерены маш нимгэн хальсны тензомэдрэмжийн коэффициент γ металл утасныхаас бараг 40 дахин их байна. 4-р зурагт фуллеренээр чанаржсан зэсийн нимгэн хальсны эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлт $\Delta R/R$, харьцангуй деформац $\Delta l/l$ -ээс хамаарах хамаарал зэсийн атом ба фуллерены молекулын тоон харьцаа (N_{Cu}/N_{C60}) харилцан адилгүй тохиолдолд дүрслэн үзүүлээ. Графикаас харвал, зэсийн хувьд энэ хамаарал эхний хэсэгтээ шугаман байснаа их деформацийн мужид бараг ханалтын утгандаа хүрч байна.



4-р зураг. (Cu-C₆₀)-ын нимгэн хальсны цахилгаан эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлт $\Delta R/R$ деформацийн хэмжээнээс хамаарах хамаарал:

$$1. \frac{N_{Cu}}{N_{C60}} = 60 \quad \gamma = 2.8 \quad 2. \frac{N_{Cu}}{N_{C60}} = 40$$

$$\gamma = 3.7 \quad 3. \frac{N_{Cu}}{N_{C60}} = 20 \quad \gamma = 14$$



5-р зураг. (Ti-C₆₀)-ын нимгэн хальсны цахилгаан эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлт $\Delta R/R$ деформацийн хэмжээнээс хамаарах хамаарал:

$$1. \frac{N_{Ti}}{N_{C60}} = 27 \quad \gamma = 4.15 \quad 2. \frac{N_{Ti}}{N_{C60}} = 20$$

$$\gamma = 2.2$$

Харин фуллеренээр чанаржуулсан титаны нимгэн хальсны хувьд энэ хамаарал деформацийн бүх мужид шугаман хамааралтай байна. Ингэхлээр фуллерентэй зэсээр үйлдсэн тензорезисторыг бага деформацийн мужид, харин фуллеренээр чанаржсан титанаар үйлдсэн резисторийг деформацийн өргөн мужид ашиглах боломжтой ажээ.

ДҮГНЭЛТ

1. Фуллеренээр чанаржсан зэс ба титаны нимгэн хальсаар үйлдсэн тензорезисторийн тензомэдрэмж тэдгээр зузаанаас хамаарч $\gamma=3-97$ хооронд өөрчлөгдөх өргөн боломжтой.
2. Фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэн хальсаар үйлдсэн тензорезисторийн хэрэглэгдэх деформацийн муж металлын төрлөөс хамаарч өөр өөр байна.

НОМЗҮЙ

1. Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., Стельмах В.Ф ИФЖ.2001 .Т . 74 ,№6 .С.106-112
2. Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., Васильев И.И., Г.Шилагарди, Д.Тимур-батор. Тензоэлектрические свойства пленок Cu-C₆₀ и Ti-C₆₀. Актуальные проблемы физики твердого тела. Сборник докладов международной конференции (Минск, 18-21 октября 2011) в 3-х томах: Вараксин, 2011. Т.3. стр. 290-291.