

Фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэм хальсаар үйлдсэн тензорезистив хувиргагчийн цахилгаан физик шинж чанар

П. Түвшинтөр^{1*}, Г. Шилагарди¹, Э.М. Шпилевский², Д. Улам-Оргих¹, Д.Төмөрбаатар¹

¹Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

²Беларусын Их Сургууль, Минск, Беларусь

Дээжийн доторх N_{me}/N_{C60} -н харьцаа багасах буюу нимгэн хальсанд хольсон фуллерены атомын тоо ихсэхэд дээжийн зузаан багасаж, түүний эсэргүүцэл R ба хувийн эсэргүүцэл ρ өсөхийн хамт тензо-мэдрэмж нь хурдан өсч байна. Титан агуулсан нимгэн хальсны доторх металлын атомын тоо 8,3 дахин багасахад зузаан нь 27 дахин багасаж, эсэргүүцэл нэг эрэмбээр, хувийн эсэргүүцэл бас нэг эрэмбээр нэмэгдэж, тензомэдрэх чадвар $\gamma=32,8$ дахин өсчээ.

Түлхүүр үг: Тензорезистив, тензомэдрэгч, фуллерен.

ОРШИЛ

Механик хүчлэгийн үйлчлэлээр буй болсон цахилгаан сигналыг хувиргах зориулалттай хэмжигч багажийг тензомэдрэгч эсэргүүцэл буюу тензорезистив хувиргагч гэнэ. Тензомэдрэгчийг металл утас, тэдгээрийн хайлш, эсвэл нимгэн металл хальс буюу хагас дамжуулагч бодисоор үйлдэнэ [1].

Тензорезистив хувиргагчийн тензомэдрэмж гэж механик деформацид орсон металл ба хагас дамжуулагч бодисын эсэргүүцлийн харьцангуй өөрчлөлтийг түүний харьцангуй суналтад харьцуулсан харьцааг хэлнэ:

$$\gamma = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \quad (1)$$

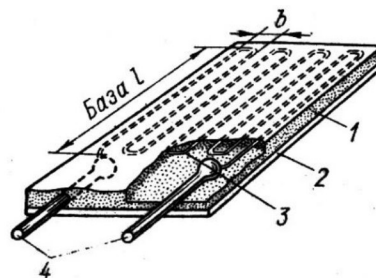
Доорх хүснэгтэд өргөн хэрэглэгддэг зарим нэгэн тензомэдрэгчийн гол параметруудийг сийрүүлэн бичлээ:

1-р хүснэгт.

Параметр	Зарим хайлшийн параметрийн утга		
	Константан 60Cu+40Ni	Манганин 84Cu+12Mn+4Ni	Нихром 80Ni+20Cr
Тензомэдрэх чадварын 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 10^{-6} , град ⁻¹	$\approx 30(100^{\circ}\text{C}$ хүртэл)	≈ 10	150,,170

Нарийхан урт цаасан тууз буюу лакадсан нарийхан тууз 2 дээр 0,02-0,05мм диаметртэй нарийхан дамжуулагч утас 3-ыг нугалан тор шиг

хэлбэртэй эвхэн нааж, утасны төгөсгөлүүд зэс дамжуулагч 4-г гагнаж, лакын нимгэн үе 1-ээр хучна.



1-р зураг. Суурь бодис дээр нааж үйлдсэн утас хэлбэртэй тензорезисторын бүтцийг дүрслэн үзүүлэв.

Ийм торлог тензомэдрэгчээ машин, механизмын гадаргуу дээр наахад тэдгээрийн гадаргуугийн нимгэн үеийн деформацийг мэдрэнэ. Тензомэдрэгчийн хамгийн их мэдрэмтгий параметрийн нэгэнд утаснуудын хоорондох зай “ b ,” орно. Тензорезисторын эгнүүлэн байрлуулсан утас дагуу татсан тэнхлэгт перпендикуляр чиглэлд деформацилах процесс явагдсанаас тензомэдрэгчийн эсэргүүцэл бас өөрчлөгдөнө. Ингэхлээр утсан тензомэдрэгчийн хөндлөн ба дагуу мэдрэх чадвар b/l харьцаагаар тодорхойлогдоно. Голцуу 30-500 Омын эсэргүүцэлтэй 5-20 мм орчим хэмжээний тензомэдрэгчийг хэрэглэх ба алдаа нь 0,1 ... 0,2 % байдаг.

Үргэлжийн тасралтгүй ажиллагаатай машин механизмын суурь бодисын дотор үүссэн өчүүхэн төдий деформац хуримтлагдсаар байгаад эцэст нь эвдэрэлд хүргэдэг. Ийм микро эвдэрлийг урьдчилсан найдвартай тандахын тулд тензомэдрэгчийн мэдрэмж γ -г бараг нэг

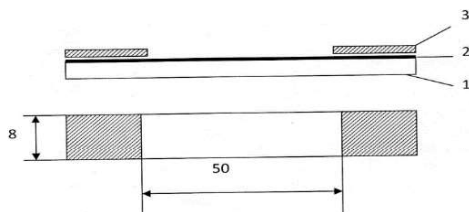
*Electronic address: tuvshintur@num.edu.mn

эрэмбээр ихэсгэх хэрэгтэй. Энэ зорилгоор бид тензомэдрэгч үйлдэх шинэ металлыг сонгон олох хэрэгтэй боллоо. Ялангуяа сүүлийн үеийн судалгааны дүнгээс үзвэл, фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэн хальсны физик шинж чанар цэвэр металаа бодвол огцом өөрчлөгддөг байна. Иймээс бид эхний ээлжинд фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэн хальсныг гарган авч түүний тензомэдрэмжийг тодорхойлох судалгаа явууллаа [1].

МЕТАЛЛ-ФУЛЛЕРЕНЫ НИМГЭН ХАЛЬС ТҮҮНИЙГ ГАРГАН АВАХ

Фуллерен ба нанохоолой гэх зэргийн нүүрстөрөгчийн нанобөөмсийг синтезлэн гаргаж авч чадсанаар металл, хагас дамжуулагч, полимерийг эдгээр нано-бөөмсөөр чанаржуулж урьд өмнө байгаагүй онцгой физик шинж чанартай композиц материалуудыг гарган авдаг болжээ [2]. Сүүлийн үед фуллерен агуулсан металлын дан ба давхар нимгэн хальсыг гарган авч элдэв терлийн сенсорууд, ялангуяа өндөр мэдрэмжтэй тензорезисторуудыг бүтээх судалгаа газар авч эхэллээ [3].

Энэ зорилгоор техникт өргөн хэрэгцээтэй материал болох зэс, титан, алт ба бусад металлуудыг ашигладаг болжээ. Металл-фуллерены нимгэн хальсыг тус тусдаа орших хоёр ууршуулагчаас металл ба фуллереныг нэгэн зэрэг ууршуулж шилэн суурь дээр $120 \times 90 \times 1,35$ мм³ хэмжээний нимгэн хальсийг тундасжуулан гарган авна. Гарган авсан металл-фуллерены дээжийн загварыг 2-р зурагт үзүүлээ.



2-р зураг. Судлах дээжийн бүтэц.

Судлах материалаа (2), суурь бодисын (1), бүх гадаргуу дээр жигд тархан тундасжуулж, металл-фуллереныг хэмгэн хальсны хоёр төгөсгөлд металлын нимгэн үеийг металлыг вакуумд ууршуулах аргаар суулгаж контактыг (3) бэлдэнэ. Нимгэн хальсны доторх металл ба фуллерены хэмжээг янз бүрээр сонгон авч харилцан адилгүй зузаантай дээжүүдийг гарган авч болно. Эдгээр нимгэн хальсны доторх металл ба фуллерены атомын тоог түүгээр

нэвтрэхдээ залгигдсан гарлийн эрчмийг хэмжих аргаар тодорхойллоо.

$$\Delta J = k \Delta M \quad (2)$$

үүний, ΔJ - залгигдсан гэрлийн эрчим, ΔM - шилэн дээр суусан бодисын масс, k - пропорционалын коэффициент болно. Тодорхой ΔM масстай эталоныг хэрэглэн пропорционалын коэффициент k олсноороо суурь бодис дээр суусан бодисын масс ΔM ба нимгэн хальсны зузаан d -г нэгэн зэрэг тодорхойлно.

Дараачийн ээлжинд фуллерен ба металл тус бүрийг дангаар ууршуулах аргаар тэдгээрийн молекулын тоо N -ыг олно. Ууршуулагчаас тал бүр тийшээ нисэж буй атомууд тал бөмбөрцөгийн дотоод гадаргууг дүүрэгдэг гэж үзээд түүний массыг олвол:

$$\Delta M = 2\pi R^2 d \rho \quad (3)$$

үүний d - ууршуулж суурь бодис дээр суулгасан бодисын зузаан, ρ - уул бодисын нягт болно. Бодисын масс $\Delta M = N m_0$, үүний N -металл буюу фуллерены молекулын тоо, m_0 –металл ба фуллерены атомын масс юм. Эндээс ууршсан бодисын атомын тоо:

$$N = \frac{2\pi R^2 d \rho}{m_0} \quad (4)$$

Ихэнх туршилтанд R - н оронд ууршуулагчаас суурь бодис хүртлэх зайг авдаг.

ФУЛЛЕРЕНЭЭР ЧАНАРЖУУЛСАН ЗЭС БА ТИТАНЫ НИМГЭН ХАЛЬНЫ ЦАХИЛГААН ШИНЖ ЧАНАРЫН СУДАЛГАА

Судалгаа явуулахын тулд янз бүрийн хэмжээний фуллерен агуулсан зэс ба титаны нимгэн хальсыг дээр дурьдсан аргаар бэлтгэж, дээжийн зузаан d , тэдгээрийн доторх металл ба фуллерены атомуудын тооны харьцаа N_{me}/N_{C60} , хувийн эсэргүүцэл ρ , эсэргүүцэл R , нимгэн хальсны тензомэдрэх чадвар γ -ыг тус бүр тодорхойлсоныг доорх хүснэгтэд сийрүүлэн бичлээ.

2-р хүснэгт. Металл-фуллерены гол параметрууд.

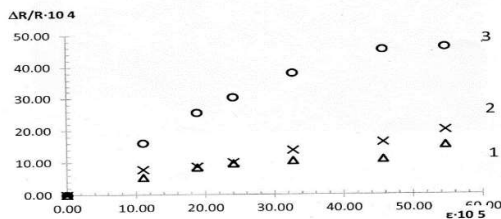
Дээж	N_{me}/N_{C60}	D , нм	R , Ом	ρ , мОм* см	γ
Cu-C ₆₀	190	406	2.4	36.1	3
	80	345	3.2	148	3.4
	40	170	11.8	267	3.7
	20	210	34.2	957	14

	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

Хүснэгтээс үзвэл дээжийн доторх N_{me}/N_{C60} - н харьцаа багасах буюу нимгэн хальсанд хольсон фуллерены атомын тоо ихсэхэд дээжийн зузаан багасаж түүний эсэргүүцэл R ба хувийн эсэргүүцэл ρ өсөхийн хамт тензо-мэдрэмж нь хурдан өсч байна.

Зэсийн атом агуулсан дээжийн хувьд нимгэн хальсан дахь зэсийн атомын тоо 9 дахин багасахад зузаан нь 40,6 дахин багасаж, эсэргүүцэл хоёр эрэмбээр, хувийн эсэргүүцэл нэг эрэмбээр нэмэгдэж, тензомэдрэх чадвар $\gamma=32,3$ дахин өсчээ. Титан агуулсан нимгэн хальсны доторх металлын атомын тоо 8,3 дахин багасахад зузаан нь 27 дахин багасаж, эсэргүүцэл нэг эрэмбээр, хувийн эсэргүүцэл бас нэг эрэмбээр нэмэгдэж, тензомэдрэх чадвар $\gamma=32,8$ дахин өсчээ. Гэтэл цэвэр металл утсаар хийсэн тензо-резисторын тензо-мэдрэх чадвар $\gamma \approx 2,1-2,4$ байдаг. Эндээс үзвэл фуллерен агуулсан нимгэн хальсны тензомэдрэх чадвар бараг 13,3 дахин өсчээ.

3-р зурагт фуллерен агуулсан зэсийн нимгэн хальсны харьцангуй эсэргүүцэл деформаци $\varepsilon = \Delta l/l$ - с хамаарах хамааралыг үзүүлэв.



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

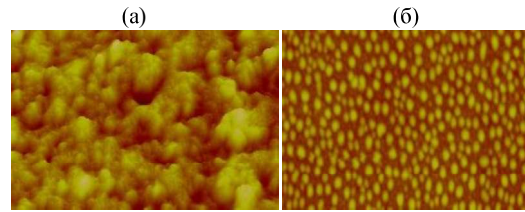
$$1. \frac{N_{Cu}}{N_{C60}} = 60 \quad \gamma = 2.8$$

$$2. \frac{N_{Cu}}{N_{C60}} = 40 \quad \gamma = 3.7$$

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

Хэрэв энэ хамааралыг шулуунаар соливол түүний өнцгийн коэффициент тензомэдрэх чадвар γ -г тодорхойлно. Энэ хамаарлаас харвал N_{Cu}/N_{C60} - н харьцаа буурахад тензомэдрэмж ихэсч байна [3].

4-р зурагт Ti-C₆₀-ын нимгэн хальсны гадаргаас атомын хүчний микроскопоор авсан зургийг үзүүлээ.



4-р зураг. Ti-C₆₀-ын нимгэн хальсны гадаргаас атомын хүчний микроскопоор авсан зураг. а) зузаан нимгэн цул хальс б) жижигхэн мөхлөгүүдээс тогтох нимгэн хальс.

Гадаргуугийн зургаас үзвэл, зузаан хальсан дахь металлын атомууд нийлж том мөхлөгийг үүсгэх тул тэдгээрийг хооронд нь холбох хилийн урт багасах ажээ, харин нимгэн хальсны мөхлөгүүд тусгаар оршиж хилийнхээ уртыг ихэсгэх тул эсэргүүцэл нь ихсэх ажээ. Хоёр мөхлөгийн хиллэх хилийн орчимийн эсэргүүцэл цул мөхлөг доторх эсэргүүцлээсээ их байдаг [3].

ДҮГНЭЛТ

1. Металл нимгэн утсаар үйлдсэн тензорезисторын тензомэдрэмж $\gamma=2.1-2.4$, нимгэн металл хальсан тензорезисторын тензомэдрэмж зузаанаасаа хамаарч $\gamma=12-20$ хүрдэг.
2. Фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэн хальсны тензомэдрэмж нимгэн хальсны зузаанаас хамаарах бөгөөд нимгэн хальсны зузаан $d=(400-5)$ нм хүртэл өөрчлөгдөхөд тензомэдрэмж $\gamma=3.4-122$ хүртэл өсч байв.
3. Эндээс үзвэл цэвэр металл утас ба нимгэн хальсны оронд фуллеренээр чанаржсан металлын нимгэн хальсыг сенсоорын идэвхитэй элемент болгон ашиглах нь хэт ирээдүйтэй ажээ.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Витязь П.А., Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., “Фуллеренсодержащие материалы и функциональные элементы на их основе” //Нанотехнологии: наука и производство. 2009, №2.-С.
- [2] Шпилевский Э.М., Шпилевский М.Э., Стельмах В.Ф., “Фуллерены и фуллереноподобные структуры –основа перспективных материалов” //ИФЖ.2001.Т . 74 ,№6 .С.106-112.
- [3] Витязь П.А., Свидуневич Н.А., “Основы нанотехнологий и наноматериолов. Минск :Высшая школа , 2010”.