

Дулаан боловсруултанд оруулсан германий монокристаллын эвдэрлийн энтропийг тодорхойлох

Г. Шилагарди¹, Э.М. Шпилевский², П. Түвшинтөр^{1*}, Т. Отгончимэг³, Д. Улам-Оргих¹

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

²Беларусын Их Сургууль, Минск, Беларусь

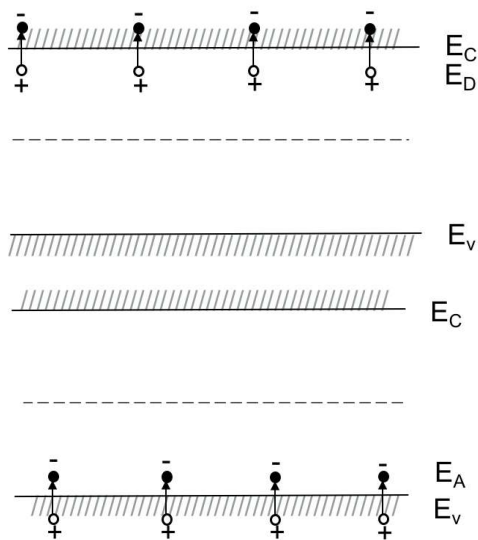
³Түмэн заг ХХК

Германий монокристаллыг өндөр температурт халаагаад буй болсон эвдрэл эдгэж амжихгүйгээр маш хурдтайгаар хатаасан. Ингэж хатаахад үүссэн эвдрэл тэр чигээрээ хадгалагдах ба системийн энтропи халаах температур, хатаалт явуулах хурд ихсэхэд улам ихэснэ. Термоакцепторын концентрац германий монокристаллын хольцын атомын концентрацаас асар их байсан тул дээж р- дамжицтай болжээ.

Түлхүүр үг: Дефект, термодфект, донор ба акцептор.

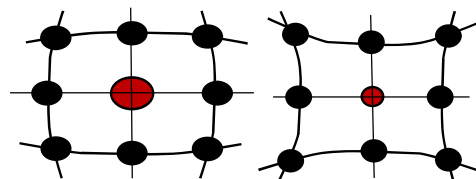
ОРШИЛ

Хагас дамжуулагч бодисын цахилгаан дамжиц хольцоос хамаардаг. Амьдралд хэрэглэгддэг ихэнх хагас дамжуулагч бодисууд 4-р бүлгийн элемент юм. Эдгээрийн тоонд германий Ge, цахиур Si орно. Германий монокристаллын атомыг 5-р бүлгийн элементээр солиход n-дамжицтай 3-р бүлгийн элементээр солиход p-дамжицтай болохоос гадна хаалттай зон дотор дамжуулалтын зоны ёроолоос 0,01 эВ зайд орших, донорын түвшингүүд валентын зоны оройгоос мөн төдий чинээ зайд орших акцепторын түвшин үүснэ. Тэдгээр түвшингүүд шингэн азотын температурт бүрэн ионждог (1-р зураг).



1-р зураг. Ионжсон донор ба акцепторын түвшингүүд.

Яагаад хаалттай зон дотор энергийн түвшин үүсч байна гэвэл, германий монокристаллын тор эвдэрч гажсан байна (2-р зураг). Үүнийг кристалл тор дотор деффект үүслээ гэдэг.



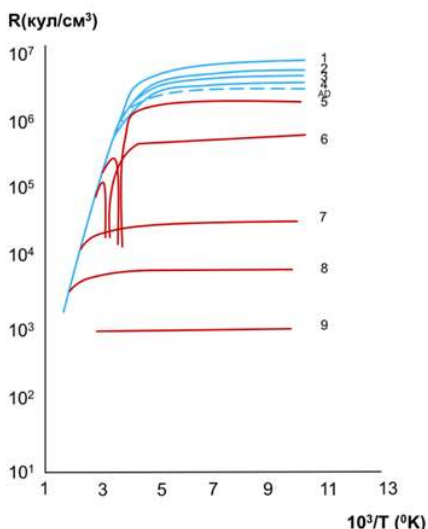
2-р зураг. Донор ба акцепторын хольцоос болсон торын гажиг.

Аливаа бодис ба системийн төлвийг тодорхойлох энтропи S хэмээх функц эвдрэл буй болж, эмх замбараагүй байдал ихсэхэд өсөх хуультай. Ингэхлээр хольцтой хагас дамжуулагчийн энтропи ихэссэнээс хаалттай зонд гүехэн энергийн түвшин үүсчээ.

ТУРШИЛТ ЯВУУЛАХ АРГАЧЛАЛ БА ТҮҮНИЙ ҮР ДҮН

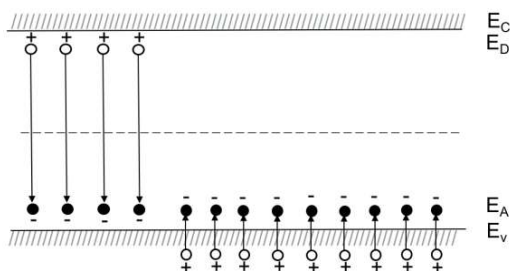
Энэ санаагаа батлахын тулд бид германий монокристаллыг өндөр температурт халаагаад буй болсон эвдрэл эдгэж амжихгүйгээр маш хурдтайгаар хатаасан. Ингэж хатаахад үүссэн эвдрэл тэр чигээрээ хадгалагдах ба системийн энтропи халаах температур, хатаалт явуулах хурд ихсэхэд улам ихэснэ. Энэ үед кристалл тор эвдэрснээс тусгаар ваканси, хоёр ваканси нийлсэн диваканси хэмээх том том эвдрэлүүд үүсэхэд хаалттай зон дотор акцепторын түвшингүүд үүсдэгийг холлын коэффициентын температурын хамааралын хэмжсэн туршилгын үр дүнгээс харж болно (3-р зураг).

*Electronic address: tuvshintur@num.edu.mn



3-р зураг. Холлын коэффициентын температурын хамаарал $lg = f(\frac{1}{T})$. 1) 300°C; 2) 330°C; 3) 400°C; 4) 450°C; 5) 500°C; 6) 550°C; 7) 600°C; 8) 650°C; 9) 700°C;

Дулаан боловсруулалтад оруулах буюу хатаахад үүссэн эвдэрлийг термодфект гэх бөгөөд валентын зоны оройгоос $E_g+0.44$ эв зайнд орших акцепторын түвшинг үүсгэнэ (4-р зураг).



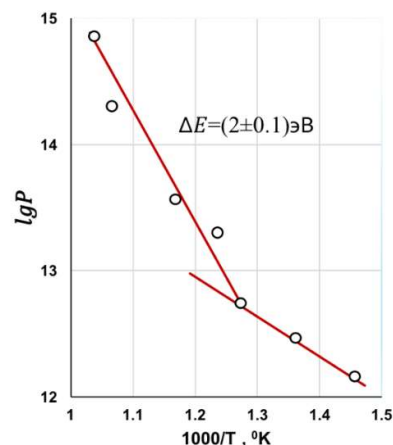
4-р зураг. Валентын зоны орой орчимд үүссэн акцепторын түвшингүүд.

Туршлагаар тодорхойлсон олдсон термоакцепторын концентрац ба температурын хамаарлыг доорх графикт дүрслэн үзүүлээ (5-р зураг).

Энэ муруйн налууг ашиглан тодорхойлоход термоакцепторын үүсэх энерги ба $E_A=(2.0\pm 0.1)$ эВ байсан түүний концентрац дараах томъёогоор тодорхойлогдож байлаа [1,2,3,4].

$$N = N_0 \exp\left(-\frac{E}{KT}\right) = 3 \cdot 10^{25} \exp\left(-\frac{2\text{эВ}}{KT}\right).$$

Термоакцепторын концентрац германий монокристаллын хольцын атомын концентрацаас асар их байсан тул дээж р-дамжицтай болжээ.



5-р зураг. Термоакцепторын концентрац хатаалтын температураас хамаарах хамаарал.

ТУРШЛГЫН ҮР ДҮНГ ШҮҮН ХЭЛЭЛЦЭХ БА ДҮГНЭЛТ

Германий монокристаллын 1см^3 эзэлхүүн дэх атомын концентрац $4.42 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ байдаг. Гэтэл экспонентын өмнөх гишүүн туршлагаар тодорхойлсноор $N_s=3 \cdot 10^{25} \text{ см}^{-3}$ байна. Нэгэн термодфектын тоо атомын концентрацаас их байж болохгүй тул дараах илэрхийлэлийг бичиж болно.

$$N_0 = N_s \cdot A = N_0 \cdot e^{\frac{S}{k}}$$

үүний N_s - кристаллын нэгж эзэлхүүн дэх атомын тоо, $A = e^{\frac{S}{k}}$ - термодфект үүсэх энтропийг агуулсан үржвэр болно. Эндээс термодфект үүсэх энтропийг олбол. $S = 6.52k$ болж байна [5,6,7]. Эндээс үндэслэн урд өмнө германий монокристалл ба бусад бодисыг дулаан боловсруулалт оруулах буюу өндөр энергитэй бөөмсөөр буудахад үүссэн эвдэрлийг судлахдаа түүний үүслийн энтропийг тодорхойлох ерөнхий санааг дэвшүүлж байна.

НОМЗҮЙ

[1] R.A. Logan, Phys. Rev., 101, 1455, 1956.
 [2] А.Д. Беляев, Л.И. Даченко, С.С. Малооголовец. Укр. Физ. Журн. 13. 654. 1967.
 [3] R.A. Logan, M.Schwartz; J.Appl.Phys.26. 1287. 1955.
 [4] S. Mayburg. Phys. Rev., 95. 38. 1954.
 [5] S. Mayburg, L. Rotondi. Phys.Rev., 91. 1015. 1953.
 [6] А. Дамаск и Дж. Динс. “Точечные дефекты в металлах”, М., 1966.
 [7] N. Letaw, J. Phys. Chem. Solidi, 1, 100. 1956.