ЎТА ЎТКАЗГИЧ МОДДАЛАР ВА УЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОН ТЕХНИКАСИДАГИ ЎРНИ

С.З.Зайнабидинов, Х.М.Мадаминов, М.О.Қўчқарова, О.О.Тешабоев

Мақола ўта ўтказгичлар ва уларнинг қўлланиши масалаларини ёритишга бағишланган. Унда ўта ўтказгичларнинг кашф этилиши, ўтмиши, ҳозирги кундаги ҳолати, муаммолар ва келажакдаги истиқболлари ҳақида сўз юритилади. Унда қори ҳароратли ўта ўтказувчан моддаларни электрон техниканинг махсус ашёси сифатида тадқиқ этишнинг ҳолати ва истиқболлари ҳақида маълумотлар келтирилган.

Калит сўзлар: *ўта ўтказгич, критик ҳарорат, Купер жуфтлари, юмшоқ ва қаттиқ ўта ўтказгичлар, юқори ҳароратли ўта ўтказгичлар.*

Статья посвящена проблемам сверхпроводимости и её применения. Освещены открытие сверхпроводимости, история развития, современное состояние и перспективы. Приведены сведения о состоянии исследований и перспективах высокотемпературных сверхпроводников, как особого класса материалов электронной техники.

Ключевые слова:*сверхпроводник, критическая температура, Куперовские пары, мягкие и твердые сверхпроводники, высокотемпературный сверхпроводник.*

This article is devoted to thestudy of problems of superconductivity and their applications in practice. The questions of opening of superconductivity, history of its development, modern conditions of researches and its prospects are discussed in this article. The items of information on a condition of researches and prospects of high-temperature superconductors, as the special class of materials of electronic engineering are given.

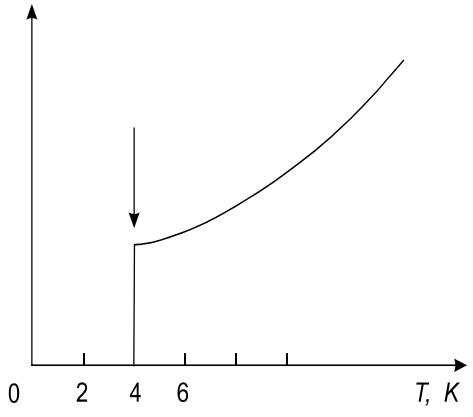
Key words: *a superconductor, critical temperature, pairKuper's, soft and solid superconductors, high-temperature superconductor.*

Маълумки, электрон асбобсозлик ва микроэлектроникада қўлланиладиган барча моддалар ўзларининг аҳамияти жиҳатидан асосий ва қўшимча моддаларга бўлинади. Асосий моддалар электрон қурилмаларнинг хусусиятларини белгилаш вазифаларини бажарса, қўшимча моддалар уларни ишлаб чиқаришга тайёрлаш ва ҳимоя воситалари бўлиб хизмат қилади [1, 2].

Асосий моддалар электр ўтказувчанлик хусусиятлари бўйича электр ўтказувчан, ўтаўтказувчан, яримўтказгич ва электр ўтказмайдиган (диэлектрик) моддаларга бўлинади. Электр ўтказувчанлар металлар, металл қотишмалари, нометалл ўтказувчан моддалар гуруҳидан иборат, уларга электр қаршилиги 10^{-7} Ом·м атрофида бўлган моддалар киради [3, 4].

Кўпгина металл ва қотишмалар, кўп таркибли кимёвий бирикмаларда жуда ҳам паст (4-6 К) ҳароратларда электр қаршилиги кескин камайиб кетиши натижасида ўтаўтказувчанлик деб аталувчи физикавий жараён вужудга келади. Ҳозирги даврда кўп таркибли махсус кимёвий тузилишга эга бўлган керамик моддаларда ўтаўтказувчанликнинг критик ҳароратини 160 К гача етказишга, яъни юқори ҳароратли ўтаўтказувчанлик хусусиятига эга бўлган моддалар яратишга эришилмоқда.

1911 йилда голланд олими Камерлинг-Оннес симоб қаршилигининг ҳароратга боғлиқлигини ўрганиш жараёнида ҳарорат 4.15 К дан пасайганда, бирдан қаршилик йўқолганини аниқлади (1-расм). Тез орада баъзи бошқа металларда ҳам шундай ҳодиса кузатилди. Металларнинг қаршилиги йўқолган ҳолатини "ўта ўтказувчанлик", бу металларнинг ўзини эса "ўта ўтказувчан" моддалар деб аталди. Нормал ҳолатдан ўта ўтказувчанлик ҳолатига ўтиш ҳароратини критик ҳарорат T_c дейилади [5].



1-расм. *Симоб қаршилигининг ҳароратга боғлиқлиги*

Ўта ўтказувчанлик бир қанча моддаларда: металлар, қаттиқ қоришмалар, кимёвий бирикмалар ва бошқаларда кузатилган. Мисол тариқасида жадвалда баъзи моддаларнинг критик ҳарорати қийматлари келтирилган.

Модданинг номи	T_c, K	Модданинг номи	T_c, K
Металлар		Кимёвий бирикмалар	
Al	1.175	NbN	17.3
Be	0.026	$(Y_{0.7}TH_{0.3})_2S_3$	17.0
Hg (α)	4.15	MoN	13.0-14.8
Hg (β)	3.95	$PbMo_6S_6$	15.0
Nb	9.25	$B_5Mo_{1.6}Zr_{0.31}$	15.2
Pb	7.23	SnTe*	0.02-1.1
Ta	4.47	La_2Se_3*	1.0
Te	7.78	InTi*	1.0-3.5
V	5.43	$NbSe_2$**	7.0
Қаттиқ қоришмалар		NbS_2**	5.4
$Nb_{0.75}Zr_{0.25}$	11.0	TaS_2 (тритон-13)***	5.0
$Nb_{0.75}Ti_{0.25}$	10.0	Оксидлар	
Интерметаллидлар		$Li_{1+x}Ti_{2-x}O_4$	13.7
Nb_3Ge	23.2	$SrTiO_{3-x}$	1.0
Nb_3Sn	18.3	$BaPb_{1-x}Bi_xO_3$ (x=0.25)	14.0
Nb_3Al	18.9	$TiBa_2SeO_5$	4.2
Nb_3Te_3	10.5	$Bi_2Si_2SeO_6$	12
$Mo_{0.38}Pe_{0.62}$	14.6	Полимер бирикмалар	
BiNI	4.25	(SN)	0.26
GeIn	4.7	$(TMTCSF)_2PF_6$	11
Pb_3Zr_5	4.6	$(BEDT\text{-}TTF)_2I_3$	8
		$(BEDT\text{-}TTF)_2IBr_2$	2.8

Яримўтказгич хоссали бирикмалар, **қатлам тузилишли бирикмалар, * интеркалитлар.*

Замонавий назариялар асосида металлар ўта ўтказувчанлиги ҳодисасини қуйидагича тушунтириш мумкин. Мутлоқ нолга яқин ҳароратларда электронларнинг ўзаро ва кристалл панжара тугунларидаги атомлар билан таъсирлашув характери ўзгариб, бир хил зарядланган электронларнинг ўзаро тортишиш имконияти пайдо бўлади ва электронларнинг (Купер) жуфтлашиши юз беради. Ўтаўтказувчанлик ҳолатида Купер жуфтларининг жуда катта боғланиш энергиясига эга бўлиши сабабли, уларнинг ўзаро ва кристалл панжара тугунидаги атомлар билан энергетик импульс алмашиниши юз бермайди. Шу ҳолатда металларнинг қаршилиги нолга тенглашиб қолади. Ҳароратнинг кўтарилиши билан электронларнинг бир қисми термик қўзғалиб, одатдаги металларга хос бўлган яккаланган ҳолатга ўтади. Маълум T_c критик ҳароратга эришилганда эса, металлдаги барча Купер жуфтлари парчаланади ва ўтаўтказувчанлик ҳолати барҳам топади (Бардин-Купер-Шриффер модели) [6].

Юқоридаги каби ҳолат ўтказгичнинг хусусий ва ташқи манбалари токи туфайли юзага келувчи магнит майдонининг муайян (H_c - критик кучланганлик ёки B_c - критик индукция) қийматларида кузатилиши мумкин.

Агар тоза металл *T* ҳароратда ва магнит майдони йўқлигида (*H=0* да) - ўта ўтказувчан ҳолатда бўлса, у ҳолда шундай критик магнит майдони кучланганлиги H_c мавжуд эканки, $H > H_c$ бўлганда, металлда ўта ўтказувчанлик бузилиб, у нормал ўтказгич ҳолатига ўтади. Агар магнит майдон па-

сайиб, $H < H_c$ бўлса, металл яна ўта ўтказувчан ҳолатга қайтади. Бу қонуният қуйидаги эмпирик формула бўйича аниқланади.

$$H_c(T) = H_c(0)\left[1 - (T/T_c)^2\right] \quad (1)$$

Ҳозиргача 35 та ўтказувчан металлар, мингга яқин ўтаўтказувчан қотишмалар ва турли элементларнинг кимёвий бирикмалари аниқланган. Бундан ташқари, айрим яримўтказгичлар, масалан, индий антимонид InSb, кумуш антимонид AgSb, ксенон антимонид XeSb кабиларда ўта ўтказувчанлик кузатилган. Кумуш, мис, олтин, платина каби кўплаб ўтказгичларда, ҳатто жуда паст ҳароратларда ҳам ўтаўтказувчанлик ҳолатига эришилганича йўқ.

Ўзларининг физик-кимёвий хоссаларига кўра элементар ўтаўтказгичлар (тоза металлар)ни юмшоқ ўта ўтказгичлар (Hg, Sn, Pb, In) ва қаттиқ ўтаўтказгичлар (Ta, Ti, Zr, Nb)га бўлиш мумкин. Юмшоқ ўта ўтказгичлар учун эриш ҳароратининг пастлиги ва ички механик кучланишларга эга эмаслик хос бўлса, қаттиқ ўтаўтказгичларда етарлича катта ички кучланишлар мавжуд бўлади.

Ўтаўтказгичларни термодинамик нуқтаи назардан I, II ва III турларга ажратиш қабул қилинган [7].

I тур ўтаўтказгичлар учун солиштирма иссиқлик сиғимининг сакраб ўзгариши хос бўлиб, жуда паст критик ҳароратда ва тахминан 1 кА/м магнит майдон кучланганлигида йўқолувчи ўтаўтказувчан ҳолатга ўтишнинг муайян ҳароратига эгалиги улардан фойдаланишни бирмунча қийинлаштиради. Бундай ўта ўтказгичларда Мейснер-Оксенфельд эффекти кузатилади. Унинг моҳиятига кўра, намуна ўтаўтказувчан ҳолатга ўтишда ўзидан магнит майдонини сиқиб чиқаради, яъни идеал диамагнитга айланади.

II тур ўтаўтказгичлар эса ўтаўтказувчан ҳолатга сакраш билан эмас, балки аста-секин ўтиши билан фарқланади. Улар учун магнит майдонининг $T_c < T_o$ ҳароратда иккита критик қийматига эга бўлиши хосдир. Агар ташқи магнит майдондаги магнит индукцияси қуйи критик индукция қийматидан орта бошласа, ўтаўтказгич намунанинг бутун қалинлиги бўйича магнит майдонининг қисман сингиши юз беради. Бунда Лоренц кучи таъсиридаги электронлар айлана бўйлаб, уюрмалар ҳосил қилиб ҳаракатлана бошлайдилар. Уюрманинг ичида айланиш тезлиги айланиш ўқига яқинлашган сари, магнит майдони критик қийматига эришгунча ва ўтаўтказувчанликнинг “узилиши” гача ортиб боради. Ташқи магнит майдони ортган сари уюрмалар сони ортиб, улар қуюқлашади. Уюрмалар орасидаги масофа Купер жуфтлари ўлчамига тенглашганда, намуна тўлиғича нормал ҳолатга ўтади, яъни магнит майдони намунага тўлиқ сингийди. II тур ўтаўтказгичларга тоза металларга мансуб ниобий Nb, ваннадий Va ва технеций Te ларни кўрсатиш мумкин.

III тур ўтаўтказгичларни ноидеал II тур ўтаўтказгич (қаттиқ ўтаўтказгич)лар сифатида қараш мумкин. Уларда фаза ажралиши ёки пластик деформацияланишда юзага келувчи йирик нобиржинслик мавжуд бўлади. Бундай тузилиш нуқсонлари уюрмаларни тутувчи тугунлар (пиннинг ҳодисаси) вазифасини бажаради, бу эса намунадан ўтувчи токнинг қийматини бирмунча орттиради. III тур ўтаўтказгичларга асосан қотишма ва кимёвий бирикмалар мансуб.

1986 йилда суюқ азот ҳароратига яқин ҳароратда ўтаўтказувчан ҳолатга ўтувчи $La_{2-x}M_xCuO_4$ (M=Ba, Sr) моддалар аниқланди. Кейинроқ $YBa_2Cu_3O_7$ қотишмаларида ўтаўтказувчанликка ўтиши -173ºC ва ундан юқорида кузатилди. Ушбу моддалар юқори ҳароратли ўтаўтказгичлар деб аталди. Улар перовскит кўринишли структура ($CaTiO_3$ – табиий минерал тузилиши)га эга ва атомлари ўзига хос тартибда жойлашган керамик моддалардир. Бундай моддаларни иттирий оксид билан мисли боркарбонат аралашмасини майда кукунлаб, сўнгра пишириш орқали олинади. Бу усулда олинган ўтаўтказувчан керамика икки фаза (бирикма)дан иборат. Биринчи фаза 2:1:1 нисбатдаги иттирий, барий ва мисни, иккинчи фаза эса кўп миқдордаги мисни ўз ичига олади. Ундаги иттирий, барий ва миснинг нисбати 1:2:3 каби. Худди шу фаза ўтаўтказувчанлик хусусиятига эга.

Ҳозирги кунда энг мукаммал ўрганилган Y-Ba-Cu-O тизимнинг ўтаўтказувчанлик хусусияти икки ва уч валентли миснинг Cu^{2+}/Cu^{3+} нисбатига боғлиқ. Ушбу нисбатнинг қийматини ўзгартириш билан ўтаўтказувчан тизимнинг хусусиятини бошқариш мумкин. Хусусан, -163ºC гача ўтиш ҳароратига ва “анъанавий” металл ўтаўтказгичлардагидан кичик қийматли 10^4 А/см^2 гача ток зичлигига эга бўлган ўтаўтказгичлар олинади.

Жаҳоннинг етакчи илмий марказларида ток зичлиги катта ва ўтаўтказувчан ҳолатга ўтиш ҳарорати нисбатан юқори бўлган янги моддаларни синтез қилиш устида ишланмоқда. Бу жабҳада кимёвий ифодаси $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_2$ бўлган висмутли тизимларнинг келажаги порлоқ. Уларнинг ўтиш ҳарорати -158ºC га етади.

Яна шундай янги моддалардан бири бўлган $Hg_2Ba_2Ca_2Cu_3O_8$ бирикмасининг кучли босим остидаги ўта ўтказувчанлик критик ҳарорат қиймати T_c=150 К гача кўтарилган.

Янги топилган юқори ҳароратли ўтаўтказгич моддаларнинг ўзига хос белгиларидан бири уларнинг кристалл панжараси таркибида ё CuO_2 дан иборат қатлам мавжудлиги, ё ҳам CuO_2 қатлами, ҳам CuO атомлардан иборат занжир борлигидир. Кўпгина мутахассисларнинг таъкидлашича, юқори ҳароратли ўтаўтказувчанлик айнан шу CuO_2 қатлами билан боғлиқ. Тушунтириш қийин бўлган баъзи хоссаларини санаб ўтамиз:

- оптик ва бошқа электрофизик тажрибаларнинг кўрсатишича, энергетик тирқиш ўтаўтказувчанликнинг критик ҳароратидан анча юқорида T^* ($T^*>T_c$) пайдо бўлади;

- худди шундай корреляцияланган ҳолда қаршиликнинг камайиши ҳам ўтаўтказувчанликнинг критик ҳароратидан анча юқори T^* да бошлади (паст ҳароратли эски ўтаўтказгичлардаги қаршилик критик нуқта T_c даёқ сакраб нолга тенглашади);

- кислород моляр миқдорининг маълум бир критик қийматида металл-яримўтказгич фазавий ўтиши содир бўлади.

Худди шунга ўхшаш яна бир неча фактлар мавжудки, буларни юқорида баён қилинган БКШ ва Боголюбовлар модели орқали тушунтириб бўлмайди.

Ҳозирги кунда нафақат юқори ҳароратли ўтаўтказгичларни экспериментал қидириш, балки унинг туб моҳиятини тушунтириб бера оладиган янги моделлар яратиш устида ҳам олимлар бош қотиришмоқда. Шу кунгача олинган назарий ва амалий тадқиқотлар натижаларининг кўрсатишича, ўтаўтказувчанлик ҳодисаси нафақат металлар ва яримўтказгичларда, балки ўзига хос мураккаб тузилишга эга бўлган кўп таркибли моддаларда ҳам юз берар экан. Дастлаб 6-8 К ҳароратларда кузатилган ўтаўтказувчанлик, адабиётлардаги маълумотларга қараганда, ҳозирги кунда 160 К да ҳам кузатилмоқда. Лекин ҳанузгача бу ҳодисани мукаммал таърифлай оладиган ягона назариянинг йўқлиги, етакчи олимларнинг илмий ғоя ва фаразлари бир-бирига мос тушмаётгани бу муаммонинг ечими қанчалик мураккаблигини кўрсатиб турибди.

Анча вақтдан буён ўтаўтказгич моддалар фан ва техниканинг турли жабҳаларида муваффақият билан қўлланмоқда. Ўтаўтказгич моддалар зарядланган заррачаларнинг тезлатгичларида, доимий ток ҳосил қилувчи ўтаўтказувчан магнит ғалтакларида, фазонинг етарлича катта соҳасида ўта кучли магнит майдонлар ҳосил қилишда, масса ва ўлчами одатдагидан кичик бўлган электр машина ва трансформаторлар, ФИК юқори бўлган қувватли электр энергия узатувчи тармоқлар, сўниш даражаси кичик тўлқин узатгичлар, қувватли электр энергия жамловчилар, хотира ва бошқариш қурилмалари учун ўтаўтказувчан кабеллар тайёрлашда ишлатилади. Ўтаўтказгичларга хос бўлган Мейснер-Оксенфельд эффектидан эса ишқаланиши бўлмаган асослар ва ФИК 100% га тенг бўлган айланувчи электр машиналар яратишда фойдаланилади. Ўтаўтказувчан илмоқ ҳодисаси гироскопларда ва ўта катта тезликли темир йўл поездларида қўлланади.

Илмий башоратларга кўра, ўтаўтказувчанлик ҳодисаси хона ҳарорати (300 К)да намоён бўлишига эришилганда, жаҳон фани ва технологиясида яримўтказгичлар ихтиро этилгандан ҳам самаралироқ бурилиш юз беради. Шу маънода, бу соҳадаги муаммоларни йиғиш ва таҳлил этиш унинг ривожига қўшилган салмоқли ҳисса бўлади.

Адабиётлар:

1. Тешабоев А.Т., Зайнобиддинов С.З., Исмоилов Қ., Эрматов Ш.А., Абдуазимов В.А. Нанозарралар физикаси, кимёси ва технологиялари.- Т.: КАМАЛАК- ПРЕСС, 2014, -368 б.

2. Нормуродов М.Т., Умирзоқов Б.Э., Пармонқулов И.П. Электрон техника материаллари ва қурилмалари технологияси.- Т.: Меҳнат, 2004.- 364 б.

3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники.- М.: Высшая школа, 1987.- 367 с.

4. Серебрянников С.В. Материалы.- М.: Высшая школа, 1992.- 94 с.

5. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости.- М.: Мир, 1972.- 312 с.

6. Бардин Дж., Шриффер Дж. Новое в изучении сверхпроводимости.- М.: Физматгиз, 1962.- 171 с.

7. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода.- М.: Мир, 1970.- 366 с.

Андижон давлат университети
2015 йил 5 майда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Каримов)