



THE EFFECT OF DOPANT CONCENTRATION ON THE CRYSTAL STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF TiO₂

Abdumannopova Mukhlisaxon Ilkhomjon qizi

Andijan State University named after Zahiriddin Muhammad Babur

Master's student of the Department of Condensed Matter Physics

Annotation. In this article, the effect of dopant (especially Co, Mn, Fe) concentration on modifying the magnetic properties of TiO₂ semiconductor material was studied. Studies show that the amount of dopant has a significant effect on the crystal lattice parameters, phase state and ferromagnetic behavior. If at low concentrations a homogeneous DMS state is formed, at high concentrations secondary phases and clustering are observed.

Keywords: TiO₂, dopant concentration, DMS, ferromagnetism, crystal structure, spintronics.

Annotatsiya. Ushbu maqolada TiO₂ yarimo‘tkazgich materialining magnit xossalari modifikatsiya qilishda dopant (ayniqsa Co, Mn, Fe) konsentratsiyasining ta’siri o‘rganildi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, dopant miqdori kristall panjara parametrlari, fazaviy holat va ferromagnit xatti-harakatlarga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Past konsentratsiyalarda bir jinsli DMS holati shakllansa, yuqori konsentratsiyalarda ikkilamchi fazalar va klasterlash kuzatiladi.

Kalit so‘zlar: TiO₂, dopant konsentratsiyasi, DMS, ferromagnetizm, kristall tuzilma, spintronika

Suyultirilgan magnit yarimo‘tkazgichlar (Diluted Magnetic Semiconductors – DMS) zamonaviy materialshunoslik, spintronika va nanoelektronika sohalarida muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu sinf materiallarining asosiy xususiyati



**“ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK
TARAQQIYOTNING USTUVOR YO‘NALISHLARI” nomli Respublika
ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-1, 2026**

shundan iboratki, ular yarimo‘tkazgich tabiatini saqlagan holda magnit tartiblanishni ham namoyon qiladi. Bu esa elektronning zaryadi bilan bir qatorda uning spin darajasidan ham foydalanish imkonini beradi. Ayniqsa, xona haroratida ferromagnetizm kuzatiladigan DMS materiallar amaliy qurilmalar, jumladan, magnit sensorlar, spintronik xotira elementlari va robototexnika tizimlari uchun katta ahamiyatga ega. Shu nuqtai nazardan, TiO_2 asosidagi yarimo‘tkazgichlar o‘zining kimyoviy barqarorligi, nisbatan arzonligi va keng tarmoqli energetik zonasi tufayli keng o‘rganilmoqda. Uni o‘tish metallari, masalan, kobalt (Co), marganes (Mn) yoki temir (Fe) bilan doplash orqali magnit xossalarni sun’iy ravishda shakllantirish mumkin.

Dopant konsentratsiyasi DMS materiallarda asosiy boshqaruvchi parametr bo‘lib, u quyidagi xususiyatlarga ta’sir qiladi:

- kristall panjara deformatsiyasi;
- defektlar va vakansiyalar hosil bo‘lishi;
- magnit ionlar o‘zaro ta’siri.

Shu sababli dopant miqdorini optimallashtirish DMS materiallarning samarali qo‘llanilishi uchun muhim hisoblanadi.

Dopant konsentratsiyasi DMS tizimlarida eng muhim boshqaruvchi parametr bo‘lib, u materialning kristall tuzilmasidan tortib, uning magnit va elektr xossalarigacha bo‘lgan ko‘plab fizik xususiyatlarga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Past konsentratsiyalarda dopant atomlari TiO_2 kristall panjarasidagi titan ionlari o‘rnini bosadi va substitutsion tarzda joylashadi. Bu jarayon panjara parametrlarining kichik darajada deformatsiyasiga olib keladi, ammo umumiy kristall tuzilma saqlanib qoladi. Bunday sharoitda tizim bir jinsli bo‘lib, magnit ionlar orasida uzoq masofali o‘zaro ta’sir mexanizmlari shakllanadi. Natijada, ferromagnit tartiblanish yuzaga kelishi mumkin. Ayniqsa, 1-5% oralig‘idagi



**“ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK
TARAQQIYOTNING USTUVOR YO‘NALISHLARI” nomli Respublika
ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-1, 2026**

dopant konsentratsiyasi ko‘plab eksperimental tadqiqotlarda optimal deb topilgan bo‘lib, bu diapazonda magnitlanish maksimal qiymatga ega bo‘ladi.

TiO₂ yupqa plyonkalari quyidagi usullar yordamida tayyorlandi:

1. Sol-gel + spin coating;
2. Magnetron sputtering.



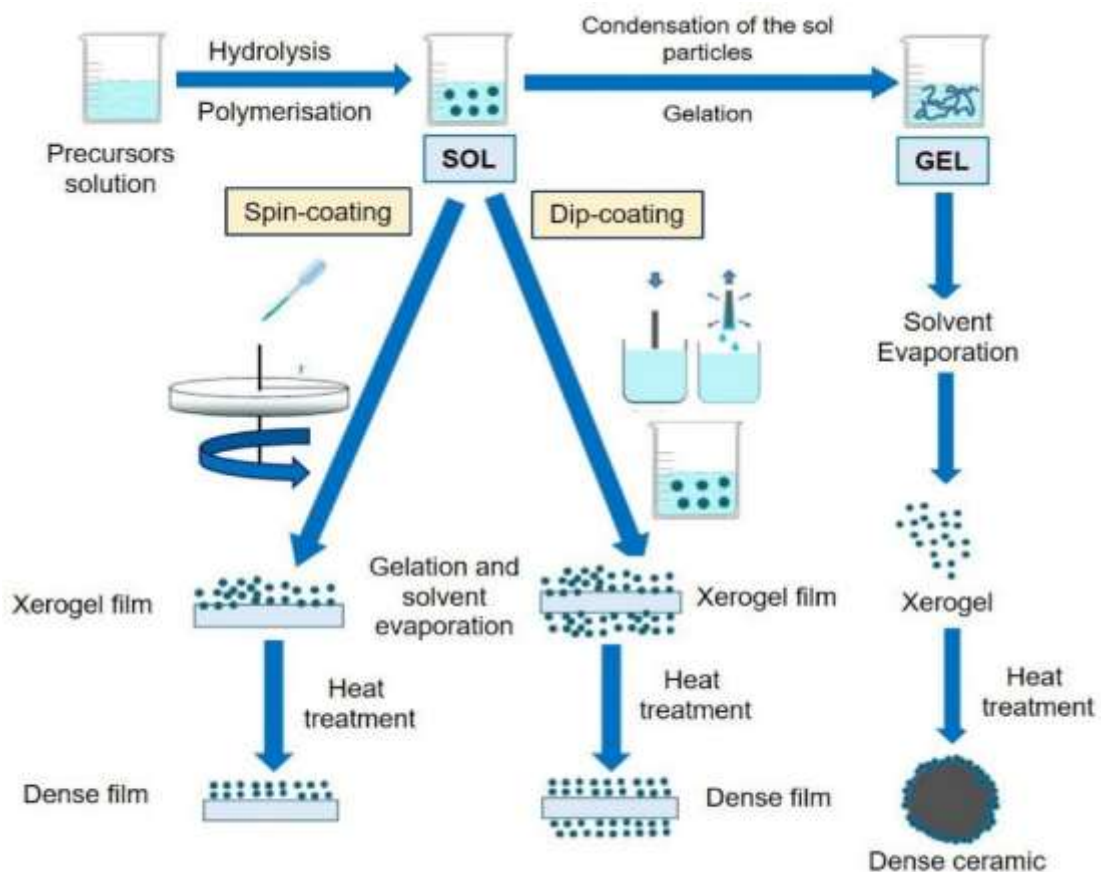
1-rasm. Spin-coating usuli yordamida TiO₂ yupqa plyonka hosil qilish jarayoni

Dopant konsentratsiyasi ortishi bilan kristall panjarada sezilarli o‘zgarishlar yuzaga keladi. Bir tomondan, dopant atomlarining ko‘payishi natijasida panjara ichidagi lokal kuchlanishlar ortadi, bu esa kristall tuzilmaning deformatsiyasiga olib keladi. Ikkinchi tomondan esa, yuqori konsentratsiyalarda dopant atomlari bir-biri bilan birlashib, klasterlar yoki ikkilamchi fazalarni hosil qiladi. Masalan, Co bilan doplangan TiO₂ tizimlarida yuqori konsentratsiyalarda CoO yoki Co₃O₄ kabi alohida fazalar paydo bo‘lishi mumkin. Bu holat materialning bir jinsliligini buzadi va uning magnit xossalariga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Chunki bunday fazalar DMS tabiatidan farqli ravishda mustaqil magnit tizimlar sifatida harakat qiladi va umumiy ferromagnit tartibni izdan chiqaradi.



**“ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK
TARAQQIYOTNING USTUVOR YO‘NALISHLARI” nomli Respublika
ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-1, 2026**

Magnit xossalarning dopant konsentratsiyasiga bog‘liqligi murakkab va ko‘p omilli jarayon bo‘lib, u bir nechta fizik mexanizmlar orqali tushuntiriladi. Eng keng tarqalgan tushuntirishlardan biri bu Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) o‘zaro ta’sir mexanizmi bo‘lib, u zaryad tashuvchilar orqali magnit ionlar o‘rtasida uzoq masofali spin almashinuvi yuzaga kelishini ta’minlaydi. Bundan tashqari, oksigen vakansiyalari ham muhim rol o‘ynaydi, chunki ular qo‘shimcha erkin elektronlarni hosil qilib, spin qutblanish jarayonini kuchaytiradi. Ba’zi hollarda bound magnetic polaron modeli ham qo‘llanilib, unda magnit ionlar atrofida lokal spin bulutlari hosil bo‘lishi natijasida ferromagnetizm yuzaga keladi. Shuni ta’kidlash joizki, bu mexanizmlar ko‘pincha birgalikda ishlaydi va ularning nisbiy hissasi materialning sintez sharoitlariga bog‘liq bo‘ladi.





**“ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK
TARAQQIYOTNING USTUVOR YO‘NALISHLARI” nomli Respublika
ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-1, 2026**

2-rasm. Sol-gel texnologiyasi orqali TiO_2 eritmasidan plyonka olish bosqichlari

Dopant konsentratsiyasining elektr xossalarga ta'siri ham alohida ahamiyatga ega. Dopant miqdori ortishi bilan zaryad tashuvchilar soni ortadi, bu esa elektr o'tkazuvchanlikning oshishiga olib keladi. Shu bilan birga, spin qutblanish darajasi ham ortadi, bu esa spintronik qurilmalar uchun muhim parametr hisoblanadi. Biroq, juda yuqori konsentratsiyalarda zaryad tashuvchilarning sochilishi kuchayadi va bu elektr hamda magnit xossalarning yomonlashuviga olib keladi. Demak, optimal dopant konsentratsiyasini aniqlash ilmiy va amaliy jihatdan muhim vazifa hisoblanadi.

Kristall tuzilma va magnit xossalar o'rtasidagi bog'liqlikni chuqurroq tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, materialning bir jinsli va defektsiz tuzilmasi kuchli ferromagnetizm uchun asosiy shartlardan biridir. Defektlar, ayniqsa oksigen vakansiyalari, ma'lum darajada foydali bo'lishi mumkin, chunki ular spin almashinuvi jarayonlarini kuchaytiradi. Biroq ularning haddan tashqari ko'pligi strukturaviy tartibsizlikni keltirib chiqaradi va magnit tartibni buzadi. Shu sababli, defekt injiniring – ya'ni defektlarni boshqarish va optimallashtirish – DMS materiallarni ishlab chiqishda muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Ushbu tadqiqot natijalari amaliy jihatdan ham muhim ahamiyatga ega. TiO_2 asosidagi doplangan DMS materiallar spintronika qurilmalarida, xususan, magnit xotira elementlari (MRAM), magnit sensorlar va past energiya sarf qiluvchi elektron tizimlarda qo'llanilishi mumkin. Bundan tashqari, robototexnika sohasida bunday materiallar asosida yuqori sezgirlikka ega magnit sensorlar yaratish imkoniyati mavjud bo'lib, ular robotlarning navigatsiya tizimlarida qo'llanilishi mumkin. Ayniqsa, past energiya sarfi va yuqori sezgirlik kombinatsiyasi avtonom robot tizimlari uchun juda muhim hisoblanadi.



**“ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLAR VA TEXNOLOGIK
TARAQQIYOTNING USTUVOR YO‘NALISHLARI” nomli Respublika
ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-1, 2026**

Xulosa qilib aytganda, dopant konsentratsiyasi TiO_2 asosidagi suyultirilgan magnit yarimo‘tkazgichlarning kristall tuzilmasi va magnit xossalarini boshqaruvchi asosiy omillardan biridir. Past konsentratsiyalarda bir jinsli va barqaror ferromagnit tizim shakllansa, yuqori konsentratsiyalarda klasterlash va faza ajralishi kuzatiladi, bu esa magnit xossalarning yomonlashuviga olib keladi. Optimal dopant miqdori odatda 4-6% oralig‘ida bo‘lib, aynan shu diapazonda maksimal magnitlanish va barqaror struktura kuzatiladi. Ushbu natijalar DMS materiallarni amaliy qurilmalarda qo‘llash uchun muhim ilmiy asos yaratadi va kelgusida yanada chuqur eksperimental hamda nazariy tadqiqotlar olib borishni talab qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. D.Rasulov. Yarimo‘tkazgich qurilmalar fizikasi. Toshkent: Fan nashriyoti, 2020. – 324 bet.
2. F.Xudoyqulov. Yarimo‘tkazgichlar va ularning xossalari. Toshkent: Fan va texnologiya nashriyoti, 2022. – 306 bet.
3. Dietl T., Ohno H., Matsukura F. et al. Zener model description of ferromagnetism in zinc-blende magnetic semiconductors // *Science*. – 2000. – Vol. 287, No. 5455. – P. 1019–1022.
4. Chambers S.A., Thevuthasan S., Farrow R.F.C. et al. Epitaxial growth and properties of ferromagnetic co-doped TiO_2 anatase // *Applied Physics Letters*. – 2001. – Vol. 79, No. 21. – P. 3467–3469.
5. Matsumoto Y., Murakami M., Shono T. et al. Room-temperature ferromagnetism in transparent transition metal-doped titanium dioxide // *Science*. – 2001. – Vol. 291, No. 5505. – P. 854–856.
6. Coey J.M.D., Venkatesan M., Fitzgerald C.B. Donor impurity band exchange in dilute ferromagnetic oxides // *Nature Materials*. – 2005. – Vol. 4. – P. 173–179.