

QALAY (IV) OKSIDI (SnO_2) YUPQA PLYONKALARINI OLIISH TEXNOLOGIYALARI: FIZIK-KIMYOVIY ASOSLAR VA XOSSALARIGA TA'SIRI

Akromjon Boboyev

Andijon davlat universiteti

Kondensirlangan muhitlar fizika kafedrasida dotsenti,
fizika-matematika fanlari doktori (DSc).

Mashhura Toxirova

Farg'ona davlat universiteti

Tayanch doktoranti.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19199709>

Annotatsiya. Ushbu ilmiy tadqiqot ishida qalay (IV) oksidi (SnO_2) asosidagi shaffof o'tkazuvchi yupqa plyonkalarining xossalari va ularni olish texnologiyalari tahlil qilinadi.

Materialning yuqori optik shaffofligi, keng taqiqlangan zona kengligi hamda kimyoviy va termik barqarorligi uning sensor va optoelektron qurilmalarda qo'llanishini belgilashi ko'rsatilgan. Zol-gel, sprej piroliz, CVD, magnetronli purkash va PLD usullarining xususiyatlari yoritilib, taglik harorati, termik ishlov muhiti va qalinlikning kristallanish, donacha o'lchami hamda elektr o'tkazuvchanlikka ta'siri bayon etilgan. Texnologik parametrlarni nazorat qilish plyonkalarining funksional xossalarini optimallashtirishda muhim omil ekani ta'kidlanadi.

Kalit so'zlar: SnO_2 yupqa plyonkalar, n-tur yarimo'tkazgich, zol-gel, CVD, magnetron sputtering, optoelektronika, gaz sensorlari.

Abstract. This research paper analyzes the properties of transparent conducting thin films based on tin (IV) oxide (SnO_2) and the technologies for their preparation. It is shown that the high optical transparency, wide band gap, and chemical and thermal stability of the material determine its application in sensor and optoelectronic devices. The characteristics of the sol-gel, spray pyrolysis, CVD, magnetron sputtering, and PLD methods are highlighted, and the effects of substrate temperature, thermal treatment environment, and thickness on crystallization, grain size, and electrical conductivity are described. It is emphasized that controlling technological parameters is an important factor in optimizing the functional properties of the films.

Keywords: SnO_2 thin films, n-type semiconductor, sol-gel, CVD, magnetron sputtering, optoelectronics, gas sensors.

Kirish

Shaffof o'tkazuvchi oksidlar orasida qalay (IV) oksidi (SnO_2) o'zining yuqori optik shaffofligi (400–800 nm spektr oralig'ida), kata man etilgan soha kengligi va yuqori kimyoviy hamda termik barqarorligi bilan alohida ahamiyat kasb etadi. SnO_2 ning kislorod vakansiyalari va donor kirishmalar (Sb, F, In) orqali oson n-turda o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi uni gaz sezgir elementlar uchun muhim materialga aylantiradi [1].

Qalay(IV) oksidi (SnO_2) rutilli kristall panjaraga ega bo'lgan n-turdagi yarimo'tkazgich materialdir. Uning taqiqlangan zona kengligi xona haroratida $E_g=3.6-4.0$ eV ga teng [2].

SnO_2 ning elektr o'tkazuvchanligi asosan kislorod vakansiyalari va donor tipidagi qo'shimchalar (Sb^{5+} , F^-) hisobiga yuzaga keladi. Elektr o'tkazuvchanlik quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [3]:

$$\sigma=nq\mu$$

bu yerda:

n — zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi,

q — elektron zaryadi,

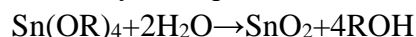
μ — elektron harakatchanligi.

Yupqa plyonka texnologiyalarining rivojlanishi SnO₂ ning strukturaviy va elektron xossalari atomar darajada boshqarish imkonini bermoqda. Shu bois, plyonkani olish usullarining fizik-kimyoviy mexanizmlarini chuqur o'rganish dolzarb ilmiy masala hisoblanadi.

SnO₂ yupqa plyonkalarini olishning bir qancha usullari mavjud.

1. Zol–gel sintez usuli

Zol–gel texnologiyasi molekulyar darajada bir jinsli SnO₂ plyonkalarini olish imkonini beruvchi past haroratli kimyoviy usullardan biridir. Jarayon qalay alkoksidlarning gidrolizi va polikondensatsiyasi orqali kolloid zol hosil bo'lishi bilan boshlanadi:



Olingan zol taglik yuzasiga spin-coating yoki dip-coating yordamida cho'ktiriladi. Keyingi termik ishlov natijasida amorf faza rutilli kristall panjaraga ega SnO₂ ga transformatsiyalanadi. zol–gel usuli orqali olingan plyonkalar yuqori optik shaffoflik va nanoo'lchamli donachalar bilan tavsiflanadi.

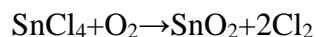
2. Sprey piroliz usuli

Sprey piroliz texnologiyasi termal parchalanish mexanizmi asosida ishlaydi. Qalay tuzlari (SnCl₂, SnCl₄) eritmasi aerosol shaklida qizdirilgan taglik yuzasiga purkaladi. Yuqori harorat ta'sirida reaktivlar oksidlanib, polikristall SnO₂ plyonkasi hosil bo'ladi.

Bu usul plyonkaning qalinligini purkash vaqti va eritma konsentratsiyasi orqali nazorat qilish imkonini beradi, ammo donachalar o'lchami nisbatan yirik bo'lishi mumkin.

3. Kimyoviy bug'lar orqali cho'ktirish (CVD)

CVD texnologiyasi SnO₂ plyonkalarini yuqori kristallik va silliq sirt bilan olish imkonini beradi. Jarayonda SnCl₄ bug'lari kislorod bilan reaksiyaga kirishib, taglik yuzasida SnO₂ qatlamini hosil qiladi:



CVD usuli mikroelektronika va optoelektronika sohalarida yuqori aniqlik talab etiladigan qurilmalar uchun istiqbollidir.

4. Magnetronli purkash usuli

Magnetronli purkash usulida Sn yoki SnO₂ nishoni yuqori energiyali ionlar bilan bombardimon qilinadi. Ajralib chiqqan atomlar taglik yuzasiga kondensatsiyalanib, zich va bir jinsli plyonka hosil qiladi. Kislorod oqimini nazorat qilish orqali plyonkaning tarkibiy nisbati boshqariladi. Bu usul bilan olingan SnO₂ plyonkalari past elektr qarshiligi va yuqori mexanik barqarorlikka ega bo'ladi[4].

5. Impulsi lazer yordamida yupqa qatlam hosil qilish (PLD)

PLD usuli lazer–modda o'zaro ta'siri asosida ishlaydi. Yuqori energiyali lazer impulslari SnO₂ nishoniga yo'naltirilib, yuqori ionlashgan plazma oqimi hosil qilinadi. Ushbu oqim taglikka cho'kib, yuqori kristall sifatli plyonka hosil qiladi. PLD, ayniqsa, fundamental tadqiqotlarda va epitaksial plyonkalar olishda keng qo'llaniladi.

Texnologik parametrlarning plyonka xossalari ta'siri

SnO₂ plyonkalarining elektr o'tkazuvchanligi kislorod vakansiyalari konsentratsiyasi, donachalar chegaralari va kirishmalarning taqsimlanishiga bog'liq.

Optik shaffoflik esa plyonka qalinligi va sirt dag'alligi bilan belgilanadi. Harorati oshishi bilan kristallik yaxshilanadi, ammo haddan tashqari haroratda diffuziya jarayonlari kuchayishi mumkin.

Taglik haroratining ta'siri

Taglik harorati SnO₂ plyonkalarining kristallanish darajasi va donachalar o'lchamiga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi. Past haroratlarda (≤ 200 °C) olingan plyonkalar odatda amorf yoki yomon kristallangan bo'lib, yuqori nuqsonlar konsentratsiyasi bilan tavsiflanadi. Harorat oshishi bilan atomlarning sirt bo'ylab diffuziyasi kuchayadi, natijada kristall o'sish faollashadi.

Kristallit o'lchami XRD ma'lumotlari asosida Scherrer tenglamasi orqali aniqlanadi:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$$

bu yerda D — kristallit o'lchami, λ — rentgen nuri to'lqin uzunligi, β — difraksiya chizig'ining yarim kengligi, θ — Bragg burchagi[5].

Termik ishlov harorati va muhitining ta'siri:

Termik ishlov jarayoni plyonkadagi ichki kuchlanishlarni kamaytiradi, nuqsonlar sonini optimallashtiradi va kristall tuzilmani yaxshilaydi. Kislorod muhitida termik ishlov qilish kislorod vakansiyalarini kamaytirib, elektr qarshilikni oshirishi mumkin, ammo optik shaffoflikni yaxshilaydi. Aksincha, inert (Ar, N₂) muhitda termik ishlov qilish donor vakansiyalarni ko'paytiradi va elektr o'tkazuvchanlikni oshiradi. Elektr qarshilik haroratga bog'liq holda Arrenius qonuniga bo'ysunadi:

$$\rho(T) = \rho_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$$

bu yerda E_a — faollanish energiyasi[6].

Xulosa

SnO₂ yupqa plyonkalarini olish texnologiyalari ularning struktura va funksional xossalarini boshqarish imkonini beradi. Kimyoviy va fizik usullarning optimal kombinatsiyasi orqali yuqori samaradorlikka ega SnO₂ asosidagi qurilmalarni olish mumkin. Ushbu yo'nalish zamonaviy materialshunoslik va nanoteknologiyaning ustuvor ilmiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

SnO₂ plyonkalarining optik va elektr xossalari ularning qalinligiga sezilarli darajada bog'liq. Juda yupqa plyonkalarda (≤ 50 nm) uzluksizlik to'liq ta'minlanmaydi va sirt tarqalishi kuchayadi. Qalinlik oshishi bilan donachalararo chegaralar soni kamayib, elektr o'tkazuvchanlik yaxshilanadi.

Texnologik parametrlarni nazorat qilish SnO₂ yupqa plyonkalarining funksional xossalarini optimallashtirishda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Taglik harorati, termik ishlov muhiti, kislorod bosimi va kirishma darajasi plyonkaning optoelektron va sezgir xossalarini boshqarish imkonini beradi. Ushbu bilimlar yuqori samarali sensor va optoelektron qurilmalar olishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Batzill M., Diebold U. *The surface and materials science of tin oxide*. Prog. Surf. Sci., 79, 47–154 (2005).
2. Gurlo A. *Nanosensors: towards morphological control of gas sensing activity*. SnO₂ materials, ChemPhysChem, 7, 2041–2052 (2006).

3. Minami T. *Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes*. Semicond. Sci. Technol., 20, S35–S44 (2005).
4. Barsan N., Weimar U. *Conduction model of metal oxide gas sensors*. J. Electroceram., 7, 143–167 (2001).
5. Kim H. et al. *Transparent conducting SnO₂ thin films*. J. Appl. Phys., 86, 6451–6461 (1999).
6. Choi Y. et al. *Effect of oxygen vacancies in SnO₂ films*. Thin Solid Films, 518, 624–628 (2010).