МЕХАНИЗМЫ ПРОИЗВОДСТВА, СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ZnO

Бобоев Акрамджон Йолдашбоевич
Кандидат наук, доцент
Андижанский государственный университет
Гуломов Бахтиёрджон Дилмуроджон ооли
Кандидат наук, старший преподаватель
Андижанский государственный университет
Одилбек Дехконбойев
Ключевой докторант
Андижанский государственный технический институт.
Email: bakhtiyorjongulomov68699@gmail.com

Аннотация. В данной исследовательской работе рассматривается доступная литература по механизмам синтеза, структурным свойствам и фотоэлектрическим применениям наноструктур на основе оксида цинка (ZnO). Показано, что широкая запрещенная зона, высокая энергия связи экситонов, а также химическая и термическая стабильность ZnO делают его перспективным материалом в оптоэлектронике, фотокатализе, сенсорах и солнечной энергетике. Отмечается, что преобладающая гексагональная структура вюрцита является стабильной фазой в нормальных условиях, и что параметры кристалла существенно влияют на свойства устройств. Анализ освещает преимущества и недостатки газофазных и жидкофазных методов получения наноструктур ZnO, включая химическое осаждение из паровой фазы, химическое осаждение из раствора и ультразвуковой спрей-пиролиз. Показано, что условия осаждения — температура, pH, время и состав прекурсора — напрямую влияют на морфологию, размер кристаллитов и оптические параметры получаемых пленок.Также был проанализирован эффект концентрации легирующей примеси на параметры решетки, качество кристалла, электропроводность и оптическую проводимость тонких пленок ZnO с атомами алюминия, и было установлено, что при определенных концентрациях можно достичь высоких значений проводимости и низкого сопротивления. Изменение оптических свойств объясняется эффектом Бурштейна–Мосса.В результате, анализ литературы показывает, что функциональные свойства наноструктур ZnO и ZnO:Al можно контролировать в зависимости от параметров синтеза и использовать в различных фотоэлектрических и оптоэлектронных устройствах.

Ключевые слова: тонкие пленки ZnO, метод химического осаждения из раствора, ультразвуковой распылительный пиролиз, тонкие пленки ZnO:Al.

ZnO ASOSIDAGI NANOTUZILMALARNI SINTEZ QILISH USULLARINING HOSIL BO‘LISH MEXANIZMLARI, TUZILMAVIY XOSSALARI VA FOTOELEKTRIK QO‘LLANILISHI

Boboyev Akramjon Yo‘ldashboyevich
f.-m.f.d, dotsent
Andijon davlat universiteti
G‘ulomov Baxtiyorjon Dilmurodjon o‘g‘li
PhD, katta o‘qituvchi
Andijon davlat universiteti
Odilbek Dexqonboyev
Tayanch doktorant
Andijon davlat texnika institute.

Email:baxtiyorjongulomov68699@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot ishida rux oksidi (ZnO) asosidagi nanotuzilmalarni sintez qilish usullarining hosil bo‘lish mexanizmlari, tuzilmaviy xususiyatlari hamda fotoelektrik qo‘llanilishlari bo‘yicha mavjud adabiyotlar tahlil qilindi. ZnO ning keng taqiqlangan soha energiyasi, yuqori eksiton bog‘lanish energiyasi, kimyoviy va termal barqarorligi uni optoelektronika, fotokataliz, sensor va quyosh energetikasi sohalarida istiqbolli material sifatida namoyon etishi ko‘rsatildi. Materialning asosan olti burchakli vurtsit tuzilishi normal sharoitda barqaror faza ekani hamda kristall parametrlari qurilma xossalariga sezilarli ta’sir qilishi qayd etildi.

Tahlilda ZnO nanotuzilmalarini olishning gaz fazasi va suyuq faza usullari, jumladan kimyoviy bug‘ cho‘ktirish, kimyoviy vannada cho‘ktirish va ultratovushli purkash pirolizi texnologiyalarining afzalliklari hamda kamchiliklari yoritildi. Cho‘ktirish sharoitlari – harorat, pH, vaqt va prekursor tarkibi – hosil bo‘ladigan plyonkalarning morfologiyasi, kristallit o‘lchami va optik parametrlariga bevosita ta’sir ko‘rsatishi ko‘rsatib berildi.

Shuningdek, alyuminiy atomlari kiritilgan ZnO yupqa plyonkalari misolida kirishma konsentratsiyasining panjara parametrlari, kristall sifati, elektr o‘tkazuvchanlik hamda optik o‘tkazuvchanlikka ta’siri tahlil qilindi va ma’lum konsentratsiyalarda yuqori o‘tkazuvchanlik hamda past qarshilik qiymatlariga erishish mumkinligi aniqlangan. Optik xossalarning o‘zgarishi Burstein–Moss effekti bilan izohlanadi.

Natijada, adabiyotlar tahlili ZnO va ZnO:Al nanotuzilmalarining funksional xususiyatlari sintez parametrlariga bog‘liq ravishda boshqarilishi mumkinligini hamda ularni turli fotoelektrik va optoelektron qurilmalarda samarali qo‘llash imkonini berishini ko‘rsatadi.

Kalit so’zlar: ZnO yupqa plyonkalar, Kimyoviy vannada cho'ktirish usuli, Ultratovushli purkash pirolizi, ZnO:Al yupqa plyonkalar.

MEKHANIZMY PROIZVODSTVA, STRUKTURNYE SVOYSTVA I FOTOELEKTRIChESKIE PRIMENENIYA METODOV SINTEZA NANOSTRUCTUR NA OSNOVE ZnO

Boboev Akramdjon Yoldashboevich
Candidate of science, associate professor
Andijan State University
Gulomov Bakhtiyordjon Dilmurodjon ooli
Candidate scientist, senior lecturer
Andijan State University
Odilbek Dekhkonboyev
Klyuchevoy is a doctoral student
Andijan State Technical Institute.
Email: bakhtiyorjongulomov68699@gmail.com

Abstract. This research paper reviews the available literature on the synthesis mechanisms, structural properties, and photovoltaic applications of zinc oxide (ZnO)-based nanostructures. It is shown that the wide band gap energy, high exciton binding energy, and chemical and thermal stability of ZnO make it a promising material in optoelectronics, photocatalysis, sensors, and solar energy. It is noted that the material's predominantly hexagonal wurtzite structure is a stable phase under normal conditions, and that the crystal parameters significantly affect the device properties.

The analysis highlights the advantages and disadvantages of gas-phase and liquid-phase methods for obtaining ZnO nanostructures, including chemical vapor deposition, chemical bath deposition, and ultrasonic spray pyrolysis. It is shown that deposition conditions—temperature, pH, time, and precursor composition—directly affect the morphology, crystallite size, and optical parameters of the resulting films.

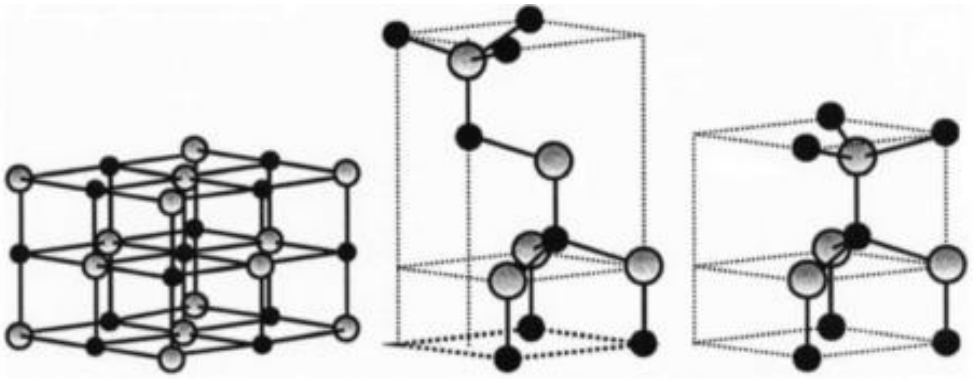
Also, the effect of the dopant concentration on the lattice parameters, crystal quality, electrical conductivity and optical conductivity of ZnO thin films with aluminum atoms was analyzed, and it was found that at certain concentrations it is possible to achieve high conductivity and low resistance values. The change in optical properties is explained by the Burstein–Moss effect.

As a result, the literature analysis shows that the functional properties of ZnO and ZnO:Al nanostructures can be controlled depending on the synthesis parameters and allow their effective use in various photoelectric and optoelectronic devices.

Keywords: ZnO thin films, Chemical bath deposition method, Ultrasonic spray pyrolysis, ZnO:Al thin films.

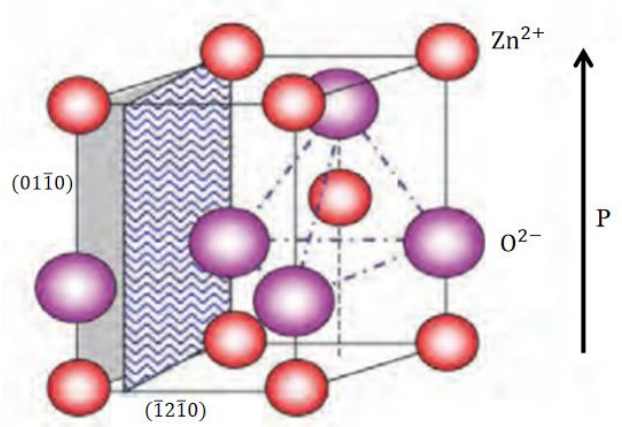
Kirish. So‘nggi yillarda metallooksidi nanotuzilmalar o‘zining fizik-kimyoviy barqarorligi, optik va elektrik xususiyatlari sababli ilmiy tadqiqotlarda keng o‘rganilmoqda hamda ular superkondensatorlar, biosensorlar, fotokataliz va bo‘yoqqa sezgir quyosh elementlari kabi qurilmalarda istiqbolli material sifatida qaralmoqda. Metallooksidlar orasida rux oksidi bunda keng taqiqlangan soha energiyasiga, yuqori elektron harakatchanligiga hamda xona haroratida barqaror fotolyuminestsiya xossalariga ega bo‘lgani tufayli istiqbolli material sifatida keng qo‘llanilmoqda. Rux oksidi (ZnO) II–VI guruhga mansub yarimo‘tkazgich birikma bo‘lib, uning kimyoviy bog‘lanish tabiati kovalent va ionli bog‘lanishlar oralig‘ida joylashgan [1]. n-tipli yarimo'tkazgich materiali bo'lgan ZnO nanotuzilmasi superkondensatorlarda, quyosh batareyalarida, biosensorlarda, fotokatalizda va biotibbiy qurilmalarda qo'llaniladi, chunki u kimyoviy va termal jihatdan barqaror [3]. ZnO keng taqiqlangan soha energiyasiga (3,1–3,3 eV) ega bo‘lib, optik yutilishi asosan ultrabinafsha (UB) spektr sohasida kuzatilad [4]. Uning ≈60 meV ga teng yuqori eksiton bog‘lanish energiyasi [5] 200–500 nm diapazonda UB yutilishini hamda UBga yaqin va ko‘rinadigan spektrning 500–600 nm oralig‘ida lyuminestsent nurlanishni ta’minlaydi [6]. Shuningdek, ZnO ning biomoslashuvchanligi uni fotokatalitik qo‘llanilishlar uchun istiqbolli materialga aylantiradi, natijada ZnO nanotuzilmalari so‘nggi yillarda gaz [7,8] va mexanik kuchlanish sensorlari [9] sifatida keng miqyosda tadqiq etilmoqda. Shu sababli biz bu maqolada sharx qilingan ilmiy manbalar asosida ZnO nanotuzilmalarining shakllanishi va boshqariladigan sintezi**,** vurtsit faza barqarorligi**,** UB sohada optik yutilish va lyuminestsensiya xossalari hamda ularning quyosh energetikasi qurilmalarida fotoelektrik qatlam/transport materiali sifatida qo‘llanish istiqbollarini tahlil qilamiz.

Rux oksidining tuzilishi. ZnO, II-VI guruhiga mansub yarimo'tkazgich material bo'lib, ikki xil kristall tuzilishga ega: rux aralashmasi (sfalerit) va olti burchakli (vurtsit) tuzilishlar [10]. Anionlar asosan, olti burchakli tuzilishda to‘rtta kation bilan o‘ralgan yoki aksincha, kationlar olti burchakli tuzilishda anionlar bilan o‘ralgan bo‘ladi: vurtsit (B4) rux aralashmasi (B3) va tosh tuzi (B1) (1-rasm) [10]**.** Vurtsit kristall tuzilishi esa har bir rux atomi kislorod atomi bilan o'ralgan va shu tariqa kislorod va rux atomlari tekisliklarining muqobil kombinatsiyasini yaratadigan zich joylashgan olti burchakli tuzilishdir (2-rasm) [8]. Vurtsit tuzilmasi odatda atrof-muhit sharoitida (normal bosim va xona haroratda) termodinamik jihatdan eng barqaror faza hisoblanadi; rux aralashmasi (sfalerit) tuzilmasi esa ko‘pincha kubik kristall panjarali tagliklarda epitaksial o‘stirish orqali metastabil holatda barqarorlashadi, tosh tuzi tuzilmasi esa faqat yuqori bosim sharoitida hosil bo‘ladigan yuqori zichlikdagi faza sifatida kuzatiladi. Vurtsit (B4) tuzilishi uchun fazoviy guruh P63mc bo'lib, xona haroratida uning panjara parametrlari a=0.3296 nm va c=0.52065 nm [11]. Vurtsit elektron qurilmalar, lazer va pyezoelektriklar ishlab chiqarishda ishlatiladigan muhim materiallardan biridir. Shuningdek, ZnO ning sinkit mineral shakli sifatida nomlangan turi mavjud bo'lib, uning tabiiy ravishda uchrashi juda kam hollarda ro'y beradi [8].



(a) (b) (c)

1-rasm: Tosh tuzi (B1), rux aralashmasi (B3) va vurtzit (B4) ning tuzilishi [12]

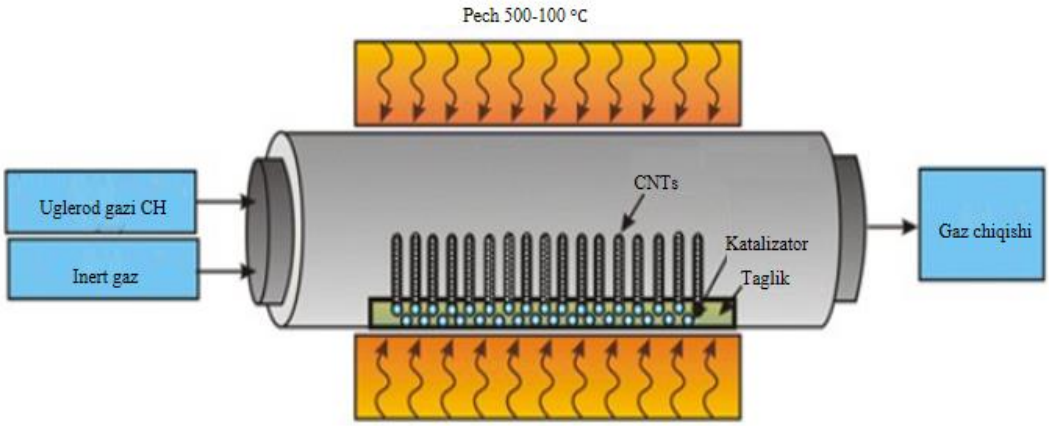


2-rasm. Vurtzit ZnO tuzilishi [13].

ZnO yupqa plyonkalarining olinish usullari. ZnO nanotuzilmalarining hosil bo‘lish jarayonlarini chuqur tushunish yuqori sifatli nanoo‘lchamli ZnO materiallarini olishni ta’minlaydi hamda ularning turli funksional sohalardagi qo‘llanilishini maqsadli ravishda optimallashtirishga imkon beradi. ZnO nanotuzilmalari ikki xil usulda sintez qilinadi: gaz fazasi va suyuq faza (kimyoviy eritma). Kimyoviy eritma usulida nanotuzilmalarni ishlab chiqarish narxi nisbatan past bo'lib, bu usul keng miqyosda ishlab chiqarishni amalga oshirishga imkon beradi [14]. Gaz fazasi usuli yuqori sifatli qatlamlar, nanotuzilmalar va qurilma geterostrukturalarini ishlab chiqarishda samarali bo'lsa-da, u yuqori narxga ega bo'lib, amalga oshirish uchun chuqur bilim va tajriba talab etadi. Gaz fazasi usuli o’z navbatida quyidagi usullarni o’z ichiga oladi, kimyoviy bug' cho'ktirish (CVD), bug'-suyuqlik-qattiq (VLS) cho'ktirish, molekulyar nur epitaksiyasi (MBE) va boshqalar. Shuningdek, suyuq faza usullariga kimyoviy vanna cho'ktirish, elektrodepozitsiya, gidrotermal usullar va boshqa jarayonlar kiradi. Har bir usulning afzalliklari va cheklovlari, shuningdek, ularni qo'llab-quvvatlovchi adabiyotlar asosida uchta asosiy usul qisqacha muhokama qilinadi.

Kimyoviy bug' cho'ktirish (KBCh) usuli. Kimyoviy vanna cho'kmasi tagliklarda uchuvchan prekursorlarning parchalanishini va yupqa plyonkalar hosil bo'lishini o'z ichiga oladi. KBCH - bu ma'lum bir haroratda qizdirilgan taglik yuzasi yaqinida sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiya yordamida bug'dan qattiq materialni cho'ktirish jarayonidir. Ushbu usul yordamida hosil bo'lgan qattiq materiallar yupqa plyonka, kukun yoki oddiy kristallar shaklida mavjud bo‘lishi mumkin [15]. KBCH usulida rux

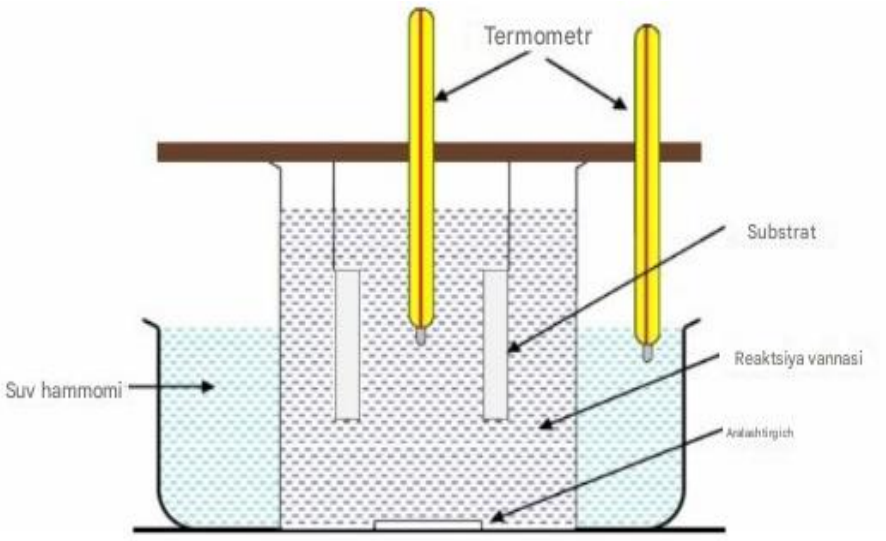
va kislorod bir-biri bilan aralashgan gaz holatida purkaladi, bu esa rux oksidi (ZnO) nanotuzilmalarini hosil qiladi. KBCH jarayoni yuqori harorat va vakuum muhitini talab qiladi hamda prekursorlar uchuvchan bo'lishi kerak. Bunda hosil bo'lgan nanotuzilmalarning xususiyatlariga ta'sir qiluvchi reaksiyani kuchaytirish uchun suyuq katalizatorlar va boshqa qattiq modda molekulalari qo'llaniladi. Ushbu usulda olingan ZnO nanotuzilmalarining morfologiyasi katalizator, cho'kma harorati va eksperimental konfiguratsiya kabi ko'plab parametrlarga bog'liq [16]. Gaz fazasida hosil bo'lgan zaryadlangan zarrachalar va qarshilik kuchi kabi boshqa parametrlar kimyoviy bug' cho'kmasida nanotuzilma hosil bo'lishiga hissa qo'shadi [17]. 3-rasmda uglerod nanotubalari sintezi (KBCH) uchun soddalashtirilgan kimyoviy bug'cho'ktirish reaktori keltirilgan.



3-rasm. Uglerod nanotubalarini sintez qilish uchun soddalashtirilgan kimyoviy bug' cho'ktirish reaktori (CNTs) [21].

Vyetnamli olim Vu Kom va uning hamkasiblari SiO_2 /Si tagliklariga tarqalgan kolloid oltin (Au) nanozarralari yordamida metallorganik kimyoviy bug‘ cho‘ktirish yordamida nisbatan past o‘sish haroratida (400-500°C) ZnO nanotuzilmalarini sintez qilishdi [18]. Ularning ilmiy tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, cho‘ktirish harorati va Au nanotuzilmalarining zichligi shakl o‘zgarishiga bog‘liq. ZnO nanotuzilmalarining yupqa qatlamlarini CVD yordamida sapfir tagliklarida o‘stirish orqali yuqori darajada sintez qilish mumkin [19]. S.S Martin va boshqalar [20] o‘z ishlarida cho‘ktirish harorati ZnO plyonkasiga boshqa parametrlarga nisbatan maksimal ta’sir ko‘rsatishini aniqladilar. Kimyoviy bug‘ cho‘ktirish yordamida olingan ZnO yupqa qatlamalaridan spintronika, gazni sezuvchi qurilmalar, optoelektronika qurilmalari va boshqalar sohasida qo‘llanilishi mumkin**.**

Kimyoviy vannada cho'ktirish usuli (CBD). Kimyoviy vannada cho'ktirish ZnO nanotuzilmalarini sintez qilishning eng qulay va eng oddiy usullaridan biri hisoblanadi. Bu jarayonda suvli prekursor eritmasi yupqa plyonkali cho'ktirishda qo'llaniladi. Boshqa nam kimyoviy cho'ktirish usullari qatorida kimyoviy vannada cho'ktirish yuqori sur'atga ega bo'ldi va u tadqiqotchilar tomonidan keng qo'llaniladi [23]. Cho'ktirishning bu usuli juda oddiy va arzonroq, chunki jarayon yuqori haroratni talab qilmaydi. Bunda ishlatiladigan anionlar va kationlar bitta eritmada tayyorlanadi va butun cho'ktirish jarayoni bitta vannada sodir bo'ladi. 4-rasmda kimyoviy vannada cho'ktirish sozlamalari ko'rsatilgan diagramma keltirilgan.



4-rasm. Kimyoviy vanna cho'ktirish moslamasini ko'rsatuvchi diagramma [24]

[25] tadqiqot ishi mualliflari kimyoviy vanna cho'kmasi yordamida o'stirilgan ZnO nanotuzilmasining optik xususiyatlarini o'rganishdi. Unga ko'ra olingan ZnO yupqa plyonkasining taqiqlangan soha kengligi 2,59-3,57 eV ekanligini aniqladilar. Elektromagnit spektrining ko'rinadigan va infraqizil sohalarida ZnO plyonkasi maksimal o'tkazuvchanlikni namoyon qiladi. Kathalingam va uning hamkasiblari kimyoviy vanna cho'kmasi yordamida o'stirilgan ZnO yupqa plyonkasining kristallit o'lchami va taqiqlangan soha energiyasi butunlay cho'kma haroratiga, ya'ni vanna haroratiga bog'liqligini ta'kidladilar [26]. Kristallit o'lchami va vanna harorati taqiqlangan soha energiyasi bilan teskari bog'liqlikka ega, ya'ni kristallit o'lchami va vanna haroratining oshishi taqiqlangan soha kengligini pasayishiga olib keladi. Shuningdek, pH qiymatlari yotqizilgan ZnO plyonkasiga katta ta'sir ko'rsatishi aniqlandi va CBD yordamida ZnO plyonkasini sintez qilish uchun eng qulay pH diapazoni 9,5-10,5 ni tashkil qiladi. Fu Yen Pei va boshqalar kimyoviy vanna cho'ktirish yordamida ZnO plyonkasini sintez qilish uchun rux asetatidan foydalanganlar va ularning tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ZnO plyonkasi olti burchakli shaklga ega [27]. Shuningdek, ZnO yupqa plyonkalari quyosh batareyalarida o'tkazuvchan qatlamlar sifatida ishlatilishi mumkin. Sreedev va boshqalar o'z ishlarida UB-ko'rinadigan spektral tahlil natijalariga ko'ra optik o'tkazuvchanlik yutilish koeffitsienti, aks ettirish va sinish koeffitsientining pasayishiga bog'liqligini va boshqa tomondan, yutilish koeffitsienti va sinish indeksi 350 nm dan 700 nm gacha bo'lgan barcha to'lqin uzunliklari uchun cho'ktirish vaqti oshirish bilan oshishini aniqladilar [28]. CBD usuli arzon, qulay va ekologik toza bo'lsa-da, uning asosiy kamchiligi eritmani doimiy ravishda o'zgartirishni talab qilishi, bu esa (20-30 mkm) uzunlikdagi nanosimlarni ishlab chiqarishni qiyinlashtiradi [23].

ZnO yupqa plyonkalarini olishning Ultratovushli purkash usuli. Ultratovushli purkash usuli nanozarralarini sintez qilish va yupqa plyonkalarni yotqizish uchun aerozol jarayoniga asoslangan tejamkor va moslashuvchan usuldir. Ushbu usul suvli erituvchilarda metall tuzlaridan foydalangan holda aniq boshqariladigan morfologiya va kimyoviy tarkibga ega metall, oksid va kompozit nanomateriallarni sintez qilishga qodir. So'nggi yillarda mazkur yondashuv bo'yicha tadqiqotlar ko'lamining kengayishi uning nanomateriallar sintezida samarali va istiqbolli usul sifatida qaralayotganini tasdiqlaydi. Yupqa plyonkalarni olishning boshqa usullari bilan solishtirganda, bu usul bir qator afzalliklarga ega, jumladan, ochiq atmosfera jarayoni, ochiq reaksiya kamerasi, o'stirish paytida sozlanishi va o'stirish jarayonini kuzatish uchun qulayligidir. Harorat jarayonning eng muhim

boshqaruvchi parametri bo‘lib, uning o‘zgarishi plyonka morfologiyasini sezilarli o’zgarishiga olib keladi.

Nanotuzilmali ZnO zarralarining morfologik xususiyatlari ularning funktsional xususiyatlari bilan bevosita bog'liqligini yotda tutgan holda, USP ZnO ning turli qo'llanilish sohalariga qaratilgan mos usul sifatida ishlatilishi mumkin. [56] tadqiqot ishi mualliflari tomonidan keltirilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra, fotokatalitik jarayonlarda ZnO yupqa qatlamlarining yuqori solishtirma sirt maydoniga ega bo‘lishi optimal samaradorlikni ta’minlashi aniqlangan. Bunday qo'llanilishlar uchun past konsentratsiya va haroratlar hamda oqim tezligi bilan bog'liq sintez bosqichlaridan foydalanish mumkin.



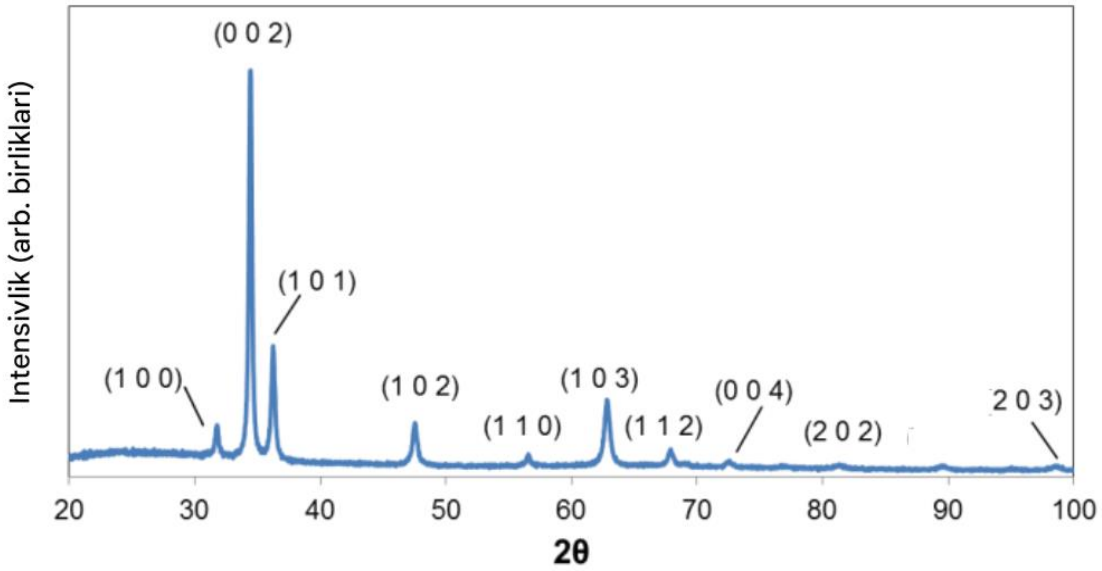
5-rasm.Ultratovushli purkash pirolizi (Ultrasonic Spray Pyrolysis, USP) qurilmasi[56]

Boshqa tomondan, fotokataliz qo'llanilishi zarrachalarning sintezlanishini va UB-yutish xususiyatlarini talab qiladi, chunki sferik zarrachalar yaxshi sintezlanishi va yorug'likning kamroq tarqalishi bilan yaxshi yutilishiga ega bo'lgani uchun qulayroqdir [57,58]. Bunday qo'llanilishlar uchun USP yuqori konsentratsiyalarda, haroratlarda va oqim tezligida qo'llanilishi kerak.

2-jadval. ZnO nanotuzilmalarini sintez qilish usulini taqqoslash.

Sintez	Afzalliklari	Kamchiliklari
Kimyoviy bug'lanish	Oddiy va samarali	Bu yuqori harorat, vakuum muhitini talab qiladi va prekursorlar uchuvchan bo'lishi kerak.
Kimyoviy vanna cho'kmasi	Bu arzonroq, samaraliroq va namunani cho'ktirish har qanday tagliklarda sodir bo'ladi.	Bu eritmaning isrof bo'lishiga olib keladi.
USP (ultratovushli purkagich pirolizi) usuli	Arzon va oddiy qurilma talab etadi, vakuum muhitiga ehtiyoj yo‘q. Katta maydonli va bir jinsli yupqa plyonkalarni olish imkonini beradi. Kirishma konsentratsiyasini oson nazorat qilish mumkin hamda sanoat miqyosiga mos.	Yuqori taglik haroratini talab qilinadi. Morfologiya va qalinlik texnologik parametrlariga juda sezgir. Kristall sifati PLD yoki CVD usullariga nisbatan pastroq bo‘lishi mumkin.

ZnO:Al yupqa plyonkalarining tuzilmaviy xususiyatlari. [28] tadqiqot ishi mulalifalari tomonidan ZnO:Al yuoqa plyonkalarini xossalari o'rganilgan va rux oksidi (ZnO) kristall panjarasiga alyuminiy atomlarining kiritilishining ta'siri rentgen difraksiyasi, Raman spektroskopiyasi, elektr va optik o'lchovlar yordamida tavsiflangan. Unga ko'ra AZO (Al-kritilgan ZnO) plyonkalarining olti burchakli vurtzi**t** tuzilishga ega, bunda ZnO:Al ning panjara parametri Al miqdori oshishi bilan kamaygan. Al miqdori 2% dan yuqori bo'lgan holatlarda, ZnO:Al plyonkalar kristall sifatining pasayishi kuzatilgan. Shuningdek, ZnO tarkibida 3% Al miqdori qo'shilgan plyonkalar past qarshilik ko'rsatkichlari bilan ajralib turgan, bu esa ularning optoelektronika va boshqa yarimo'tkazgich ilovalarida yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Shisha ustiga o'stirilgan ZnO:Al namunaning XRDda olingan natijalari 6-rasmda ko'rsatilgan [28]. Ushbu rasm ICDD ma'lumotnoma diagramasiga (00-036-1451) muvofiq rux oksidining olti burchakli tuzilishini tasdiqlaydi.



6-rasm. Shisha tagliklariga o'stirilgan AZO ning rentgen tasviri. Cho'qqilar olti burchakli tuzilgan rux oksidiga (ICDD 00-036-1451) mos keladi.[28]

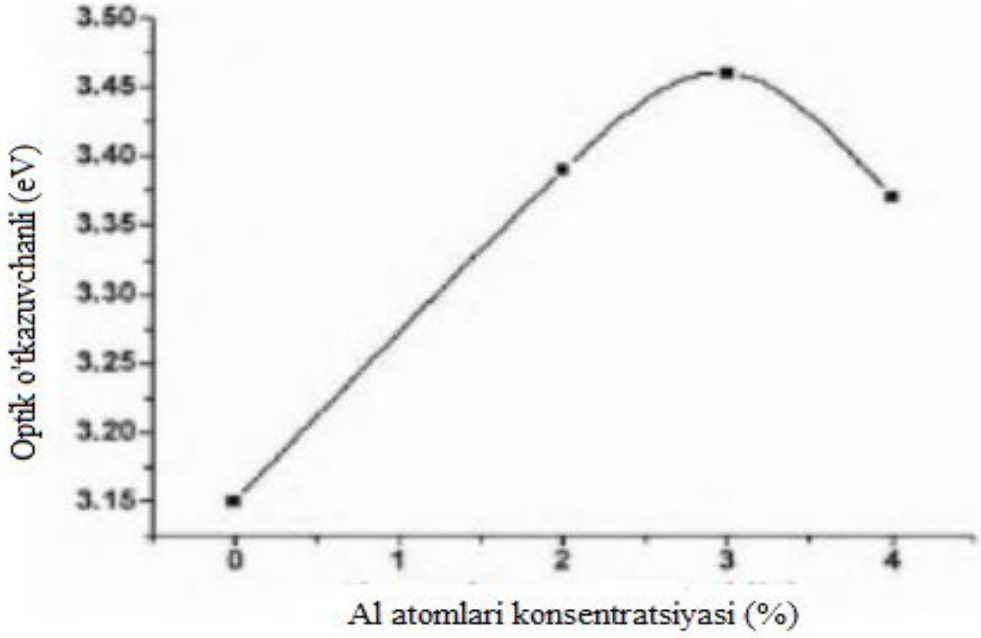
ZnO:Al materiali polikristal bo'lib, taxminan 310 nm o'lchamdagi nanozarralardan iborat. Katta birlashgan nanozarralar 1,5-2 μm o'lchamda mavjud bo'lib, ular 200-290 nm o'lchamdagi kichikroq nanozarralardan iborat [28].

XRD tahlili AZO plyonkasining olti burchakli vurtzit kristall tuzilishini anglatadi. (002) cho'qqisi plyonkaning c-o'qi yo'nalishida kuchli orientatsiyaga ega ekanligini ko'rsatadi, bu esa AZO plyonkalarining yaxshi elektr va optoelektron xususiyatlariga ega ekanligini anglatadi. Al kritilgan ZnO ning kristall tuzilishini o'zgartirmasdan, uning elektr o'tkazuvchanligini yaxshilashga yordam berishini anglatadi.

ZnO:Al yupqa plyonkalarining optik xususiyatlar.

[63] tadqiqot ishi mualliflari tomonidan Al kirishm atomlarining konsentratsiyasi va taglik haroratining AZO yupqa plyonkalarining optik o'tkazuvchanligiga ta'siri o'rganildi, unga ko'ra plyonkalarning o'tkazuvchanligi haroratga qarab o'zgarib turishi, maksimal optik o'tkazuvchanlik 450^0C da kuzatildi. Turli xil kirishma konsentratsiyalari va taglik haroratiga ega barcha

plyonkalarning optik o'tkazuvchanligi 600 nm –700 nm to'lqin uzunligi oralig'ida o'tkazuvchanligi 75% dan 90% gacha o'zgarishi aniqlandi. ZnO ga 2 % Al ni kiritilgan plyonkaning optik o'tkazuvchanligi 450°C da 90% ga yaqin va 3 va 4 % Al ni kiritilgan ZnO plyonkadan optik o'tkazuvchanligi yuqori. Bu 2 % Al ni kiritilgan ZnO plyonka 3 va 4% Al kiritilgan ZnO plyonkaga qaraganda ko'proq bo'shliqlarni xosil qilish bilan bog'liq, bu esa optik sochilishning pasayishiga va optik o'tkazuvchanlikning oshishiga olib keladi.



7-rasm. 475°C temperaturadagi ZnO pyyonkasiga Al atomlarini turli foyizlarda kiritilganda, ZnO:Al ning taqiqlangan soha kengligiga bog'liqligi.[64]

ZnO ga 3 % Al atomlari kiritilgandan keyin optik o'tkazuvchanligi kamayishi kuzatilgan (7-rasm). Srikant va Klarkning fikriga ko'ra, Burstein-Moss effekti elektronlar va teshiklarning past effektiv massasiga ega materiallar uchun amal qiladi. Ushbu effekt tufayli, kvant chegarasi optik o'tkazuvchanlik oralig'ining dastlabki oshishiga olib keladi, bu esa Al-kritilgan ZnO plyonkalarining optik o'tkazuvchanligining ko'zga ko'rinadigan ko'k nurlani yutilishiga sabab bo'ladi.

XULOSA. Ushbu adabiyotlar tahlili rux oksidi asosidagi nanotuzilmalarni sintez qilish usullari, ularning hosil bo'lish mexanizmlari, tuzilmaviy hamda optik-elektrik xossalarini yoritib berdi. Tahlil natijalariga ko'ra, ZnO keng taqiqlangan soha energiyasi, yuqori eksiton bog'lanish energiyasi, fotolyuminestsent xususiyatlari va kimyoviy barqarorligi sababli optoelektronika, sensor, fotokataliz va quyosh energetikasi qurilmalarida istiqbolli material sifatida qaraladi. ZnO turli kristall fazalarda mavjud bo'lishiga qaramay, normal sharoitda eng barqaror tuzilma olti burchakli vurtsit ekani ko'rsatildi hamda aynan shu faza ko'pgina elektron va pyezoelektrik qurilmalar uchun muhim hisoblanadi. Panjara parametrlarining aniqligi va kristall orientatsiya material xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi qayd etilgan.

Nanotuzilmalarni olishda gaz fazasi va suyuq faza texnologiyalari keng qo'llaniladi: kimyoviy bug' cho'ktirish yuqori sifatli qatlamlar olish imkonini bersa-da, yuqori harorat va vakuum talab qilishi bilan murakkab; kimyoviy vannada cho'ktirish soddaligi, arzonligi va past haroratda amalga oshirilishi bilan ajralib turadi, biroq eritma almashinuvi zarurati kabi cheklovlarga ega; ultratovushli

purkash pirolizi esa sanoat miqyosida qo‘llash imkoniyati va katta maydonli bir jinsli plyonkalar hosil qilishi bilan e’tiborni tortadi, ammo morfologiya texnologik parametrlariga juda sezgir. CBD usulida olingan plyonkalarda taqiqlangan soha kengligi, kristallit o‘lchami va optik o‘tkazuvchanlik kabi parametrlarning cho‘ktirish harorati, pH va vaqtga kuchli bog‘liqligi aniqlangan; kristallit o‘lchami ortishi bilan taqiqlangan soha kengligining kamayishi kuzatiladi hamda ma’lum pH diapazoni sifatli plyonka olish uchun muhim ekani ta’kidlangan.

Al bilan kirishmalangan ZnO plyonkalari bo‘yicha natijalar Al miqdori ortishi panjara parametrlarining kamayishiga olib kelishini, biroq yuqori konsentratsiyalarda kristall sifati pasayishini ko‘rsatadi. 2–3 % atrofidagi kirishmalar past qarshilik va yuqori optik xossalarga erishishda muhim omil bo‘lib xizmat qiladi, (002) yo‘nalishning ustunligi esa elektr va optoelektron qo‘llanishlar uchun qulaylikni bildiradi. Optik tadqiqotlar ko‘rinadigan diapazonda yuqori o‘tkazuvchanlikni namoyon etishini, kirishma miqdori ortishi bilan esa Burstein–Moss effekti tufayli o‘tkazuvchanlik va yutilish xususiyatlari o‘zgarishini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, keltirilgan adabiyotlar ZnO va AZO nanotuzilmalarining xossalari sintez sharoitlari bilan bevosita bog‘liq ekanini hamda parametrlarni nazorat qilish orqali ularni turli fotoelektrik va optoelektron qurilmalar uchun maqsadli ravishda moslashtirish mumkinligini tasdiqlaydi. Xususan, ZnO va ZnO:Al yupqa plyonkalari ko‘p qatlamli quyosh elementlarida funktsional qatlam sifatida, shaffof quyosh elementlarida optik jihatdan yo‘qotishi past material sifatida, shuningdek shaffof o‘tkazuvchi elektrod (TCO) va old/orqa elektrod qatlamlari sifatida qo‘llanishi mumkinligi ularning amaliy istiqbollarini yanada kuchaytiradi.

ADABIYOTLAR

1. Morkoe H., Ozgur U., “Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology”, 2009.
2. Schmidt-Mende L. and Macmanus-Driscoll LJ, “ZnO-nanostructures, defects and devices”, Materials Today, vol. 10, pp. 40–48, 2007.
3. Theerthagiri J., Salla S., Senthil R. A., Nithyadharseni P., Madankumar A., Arunachalam P., Maiyalagam T. and Hyun-Seok Kim, “A review on ZnO nanostructured materials: energy, environmental and biological applications,” Nanotechnology, vol. 30, p. 39, 2019.
4. Wibowo A., Marsudi MA, Amal MI, Ananda MB, Stephanie R., Ardy H., and Diguna LJ, “ZnO nanostructured materials for novel solar cell applications,” RSC Adv., vol. 10, pp. 42838–42859, 2020.
5. Tian ZA, Voigt JA, Liu J., Mckenzie B., Mcdermott MJ, Rodriguez MA, Konishi H., and Xu H., “Complex and oriented ZnO nanostructures,” Nater Mater, vol. 2, pp. 821–826, 2003.
6. Wilson S. A., Jourdain R. P., Zhang Q., Dorey R. A., Bowen C. R., Willander M., and Persson K., “New materials for microscale sensors and actuators, an engineering review,” Mater Sci Eng R, vol. 56, pp. 1–129, 2007.
7. Arya S. K., Saha S., Ramirez-Vick J. E., Gupta V., Shansali S., and Singh S. P., “Recent advances in ZnO nanostructures and thin films for biosensor applications,” Analytica Chimica Acta, vol. 737, pp. 1–21, 2012.
8. Cauda V., Gazia R., Porro S., Stassi S., Canavese G., Roppolo I. and Chiolerio A. “Nanostructured ZnO materials: synthesis, properties and applications”, Handbook of Nanomaterials Properties, 2014.
9. Zhong WL, “Nanostructures of zinc oxides”, Materials Today, Vol. 7, No. 6, pp. 26–33, 2004.

10. Nagar S. and Chakrabarti S., Optimization of ZnO thin films, 2017.
11. Abbas N. S., Gul M., Abbas M. and Amin M., "Synthesis of metal oxide semiconductor nanostructures for gas sensors", IntechOpen, 2020.
12. Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., and Morkoç, A. H, "A comprehensive review of ZnO materials and devices", Journal of Applied Physics, Vol. 98, 2005.
13. Kosyachenko L. A., Editor, Solar cells as dye-sensitized devices, 2011, p. 504.
14. Karunakaran C., Bhargava K., and Benjamin R., "Biosensors and Bioelectronics," 2015.
15. Jan-otto Carlsson and Peter M. Martins, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Third Edition, 2010, pp. 314–363.
16. Choi S. C., Lee D. K., and Sohn S. H., "Effect of Experimental Configuration on the Morphology of Two-Dimensional ZnO Nanostructures Synthesized by Thermal Chemical Vapor Deposition," Crystals, vol. 10, p. 517, 2020.
17. Seong-Han Park, Jin-Woo Park, Seung-Min Yang, Kwang-Ho Kim, and Nong-Moon Hwangi, "Effect of electrical bias on the deposition behavior of ZnO nanostructures by chemical vapor deposition", Journal of Physical Chemistry, vol. 44, pp. 25047–25052, 2015.
18. Sang-Wo Kim, Fujita Schizuo, Hyun-Kyu Park, Beelyang Yang, Han-Ki Kim, Dae Ho Yoon, "Growth of ZnO nanostructures by chemical vapor deposition", Journal of Crystal Growth, pp. 306–310, 2006.
19. Chen Z., Shun K., Salagaj T., Zhara W., and Strobl K., "ZnO Thin Films Synthesized by Chemical Vapor Deposition," in Proceedings of the June 2010 Conference, 2010.
20. Sanchez-Martin S., Olaizola S., Castano E., Unionabarrenetxea E., Mandayo G., and Ayerdi I., "Study of Deposition Parameters and Growth Kinetics of ZnO Deposited by Aerosol-assisted Chemical Vapor Deposition," RSC Adv., vol. 11, pp. 18493–18499, 2021.
21. Zaytseva O. and Neumann G., "Carbon Nanomaterials: Production, Effects on Plant Growth, and Applications in Agriculture and Environmental Protection," Chem. Biol. Technol. Agric. 3, 2016.
22. Benjamin A. Ezekoye, Offor PO, Ezekoye VA, Ezema F., "Thin Film Chemical Bath Deposition Methods: A Review", International Journal of Scientific Research, Vol. 2(8), pp. 452-456, 2013.
23. Magnus W., Ed., Zinc Oxide Nanostructures: Advances and Applications, CRC Press, 2014.
24. Zein R. and Alghoraibi I., "Effect of Deposition Time on Structural and Optical Properties of ZnS", INT.J. ChemTech Res., Vol. 6, No. 5, pp. 3220-3227, 2014.
25. Taunk PB, Das R., Bisen DP, Tamraker RK and Rathor N., "Synthesis and optical properties of chemical bath-deposited ZnO thin films", Karbala International Journal of Modern Science, Vol. 1, pp. 159–165, 2015.
26. Kathalingam A., Ambika N., Kim MR, Elanchezhiya J., Chae YS and Rhee JK, "Chemical bath deposition and characterization of nanocrystalline ZnO thin films", Materials Science, Vol. 28, 2010.
27. Fu YP and Chen J. J, "Properties of zinc oxide films prepared by chemical bath deposition", Key Engineering Materials, pp. 602–603, March 2014.
28. Sreedev P., Rakhesh V. and Roshima NS, "Synthesis of ZnO thin films prepared by chemical bath deposition method"Kumar M. va Sasikumar C., "nanotuzilmali ZnO yupqa plyonkasini elektrodlash", Amerika materialshunoslik va muhandislik jurnali, 2-jild, 18-23-betlar, 2014-yil.
29. Gu C., Li J., Lian J., and Zang G., "Electrochemical synthesis and optical properties of In2O3:ZnO thin films on Sn(ITO)-coated glass," Applied Surface Science, vol. 253, pp. 7011–7015, 2007.

30. Fahoume M., Maghfoul O., Aggour M., Hartit B., Chraibi F., and Ennaoui A., "Growth and characterization of ZnO thin films prepared by electrodeposition technique," Solar Energy Materials and Solar Cells, vols. 1437-1444, p. 90, 2006.
31. Rosas-Laverde N. Ma., Pruma A., Busquets-Mataix D., and Pullini D., "Morphology and structure of ZnO nanostructures electrodeposited using graphene oxide," Materials (Basel), vol. 13, p. 365, 2020.
32. Manimuthu T., Anandhan N., Thangmuthu R., Surya S., Panneerselvam R., Ganesan, "Effect of deposition potentials and two-temperature on one-step electrochemical synthesis of one- and two-dimensional nanostructured ZnO thin films on flour-soldered tin oxide substrates", J. Nanosci. Nanotechnol., vol. 19, pp. 7014-7025, 2019.
33. Inguata R., Piazza S., and Sunseni C., "A route to grow oxide nanostructures based on metal displacement deposition: Characterization of Lanthanoids Oxy/Hyroxides," J. Electrochemical Soc., vol. 159, pp. D493-D500, 2012.
34. M. Ej Hejji, Hallaoui A., Bazzi L., Benlhachemi A., Jbara O., Tara A., and Bakiz B., "Nanostructured ZnO, ZnO-CeO2, ZnO-CuO thin film electrodes prepared by electrodeposition for electrochemical degradation of paint," International Journal of Electrochemical Science, vol. 9, pp. 4297-4314, 2014.
35. Pandey RK, Sahn SN, Chandra S., "Handbook of Semiconductor Electrodization", Volume 53, Page 105, 1996.
36. Saravanan R. and Dubey R. S., "Experimental investigation of ZnO nanostructures on various substrates using electrodeposition method," Materials Today: Proceedings, vol. 49, pp. 2862-2866, 2022.
37. Ranjit S. Kate, Suraj A., and Ramesh J. Deakate, "An overview of nanostructured metal oxides and pure nickel oxide (NiO) electrodes for supercapacitors: A review," Journal of Alloys and Compounds, vol. 10, p. 262, 2017.
38. Krajian H., Abdallah B., Kakhia M., and AlKafri N., "Hydrothermal growth method for deposition of ZnO films: Structural, chemical, and optical studies," Microelectronics Reliability, vol. 125(5), p. 114352, 2021.
39. Balucani M., Nenzi P., Chubenko EB, Klyshko AA, and Bondarenko VP, "Electrochemical and hydrothermal deposition of ZnO on silicon: from continuous films to nanocrystals", J. Nanopart Research, vol. 13, pp. 5985–5997, 2011.
40. Mohan S., Vellakkat M., Aravind A., and Reka U., "Hydrothermal synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles of various shapes under different reaction conditions", Nano Express, pp. 030028, 2020.
41. Sharm DK and Kumar V., "Review of ZnO: Basic properties and applications", Materials Today: Proceeding, vol. 49, pp. 3028-3035, 2022.
42. Ameta SC and Ameta R., Solar energy conversion and storage, CRC Press, 2015. "Gamry asbobi", [Onlayn]. Mavjud: https://www.gamry.com/application-notes/physechem/dssc-dye-sensitized-solar-cells/.
43. N. Rajagopalan, A.S. Khanna, Effect of size and morphology on UV-blocking property of nano ZnO in epoxy coating, Int. J. Scient. Res. Pub. (IJSRP) 3 (Issue 4) (April 2013).
44. Q.C. Bui, G. Ardila, H. Roussel, C. Jimenez, I. Gelard, O. Chaix-pluchery, X. Mescot, S. Boubenia, B. Salem, V. Consonni, Tuneable polarity and enhanced piezoelectric response of ZnO thin films

grown by metal – organic chemical vapour deposition, Mater. Adv. 3 (2022) 498–513. https://doi.org/10.1039/d1ma00921d.
45. M. Ohring, Materials Science of Thin Films, second ed., Academic Press, 2001.
46. B.D. Cullity, S.R. Stock, Elements of X-Ray Diffraction, third ed., Pearson, Upper Saddle River, NJ, 2001.
47. A. van der DRIFT, Evolutionary selection, a principle governing growth orientation in vapourdeposited layers, Philips Res. Reports. 22 (1967) 267–288.
48. A. Wander, F. Schedin, P. Steadman, A. Norris, R. Mcgrath, T.S. Turner, G. Thornton, N.M. Harrison, Stability of Polar Oxide Surfaces, Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3811. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.86.3811.
49. Tuning the Morphology of ZnO Nanostructures with the Ultrasonic Spray Pyrolysis Process. *Metals***2018**, *8*(8), 569;https://doi.org/10.3390/met8080569
50. Muñoz-Fernandez, L.; Alkan, G.; Milošević, O.; Rabanal, M.E.; Friedrich, B. Synthesis and characterisation of spherical core-shell Ag/ZnO nanocomposites using single and two-steps ultrasonic spray pyrolysis (USP). Catal. Today 2017. [Google Scholar] [CrossRef]
51. Hidayat, D.; Ogi, T.; Iskandar, F.; Okuyama, K. Single crystal ZnO:Al nanoparticles directly synthesized using low-pressure spray pyrolysis. Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol. 2008, 151, 231–237. [Google Scholar] [CrossRef]
52. Gurmen, S.; Ebin, B. Production and characterization of the nanostructured hollow iron oxide spheres and nanoparticles by aerosol route. J. Alloys Compd.. 2010, 492, 585–589. [Google Scholar] [CrossRef]
53. Gurmen, S.; Guven, A.; Ebin, B.; Stopic, S.; Friedrich, B. Synthesis of nano-crystalline spherical cobalt-iron (Co-Fe) alloy particles by ultrasonic spray pyrolysis and hydrogen reduction. J. Alloys Compd. 2009, 481, 600–604. [Google Scholar] [CrossRef]
54. Lojpur, V.; Mancic, L.; Rabanal, M.E.; Dramicanin, M.D.; Tan, Z.; Hashishin, T.; Ohara, S.; Milosevic, O. Structural, morphological and luminescence properties of nanocrystalline up-converting Y1.89Yb0.1Er0.01O3 phosphor particles synthesized through aerosol route. J. Alloys Compd. 2013, 580, 584–591. [Google Scholar] [CrossRef]
55. Emil, E.; Gürmen, S.; Hall, W. Estimation of yttrium oxide microstructural parameters using the Williamson–Hall analysis. Mater. Sci. Technol. 2018, 836. [Google Scholar] [CrossRef]
56. Ebin, B.; Arig, E.; Özkal, B.; Gürmen, S. Production and characterization of ZnO nanoparticles and porous particles by ultrasonic spray pyrolysis using a zinc nitrate precursor. Inter. J. Miner. Metall. Mater. 2012, 19, 651–656. [Google Scholar] [CrossRef]
57. Yassitepe, E.; Yatmaz, H.C.; Öztürk, C.; Öztürk, K.; Duran, C. Photocatalytic efficiency of ZnO plates in degradation of azo dye solutions. J. Photochem. Photobiol. A Chem. 2008, 198, 1–6. [Google Scholar] [CrossRef]
58. H. Hagendorfer, K. Lienau, S. Nishiwaki, C. M. Fella, L. Kranz, A. R. Uhl, D. Jaeger, L. Luo, C. Gretener, S. Buecheler, Y. E. Romanyuk, and A. N. Tiwari, "Highly transparent and conductive ZnO: Al thin films from a low temperature aqueous solution approach.," Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.),vol. 26, no. 4, pp. 632–6, Jan. 2014.

59. A. Čampa, J. Krč, J. Malmström, M. Edoff, F. Smole, and M. Topič, “The potential of textured front ZnO and flat TCO/metal back contact to improve optical absorption in thin Cu(In,Ga)Se2solar cells,” Thin Solid Films, vol. 515, no. 15, pp. 5968–5972, May 2007.
60. A. Mosbah, S. Abed, N. Bouhssira, M. S. Aida, and E. Tomasella, “Preparation of highly textured surface ZnO thin films,” Materials Science and Engineering: B, vol. 129, no. 1–3, pp. 144–149, Apr. 2006

61. F. Ruske, C. Jacobs, V. Sittinger, B. Szyszka, and W. Werner, “Large area ZnO:Al films with tailored light scattering properties for photovoltaic applications,” Thin Solid Films, vol. 515, no. 24, pp. 8695–8698, Oct. 2007.
62. M. Jin, J. Feng, Z. De-heng, M. Hong-lei, and L. Shu-ying, “Optical and electronic properties of transparent conducting ZnO and ZnO : Al films prepared by evaporating method,” vol. 357, pp. 99–102, 1999.
63. Deng X.-R., Deng H., Wei M., Chen J.-J., Chen H**.** Effect of substrate temperature on the properties of transparent conductive ZnO:Al thin films prepared by RF sputtering // *Journal of Vacuum Science & Technology A*. 2011. Vol. 29. No. 5. Art. 051506. doi: 10.1116/1.3610175.
64. M. S. Kim; K.-G. Yim; J.-S. Son; J.-Y. Leem. “Effects of Al Concentration on Structural and Optical Properties of Al-doped ZnO Thin Films.” *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33(4), 1235–1241 (2012). DOI: 10.5012/bkcs.2012.33.4.1235