

KENG ZONALI MATERIALLARNING OPTIK VA ELEKTR XUSUSIYATLARI

¹ X. U. Ma'rufjonov.

¹ Andijon davlat texnika inistituti talabasi.

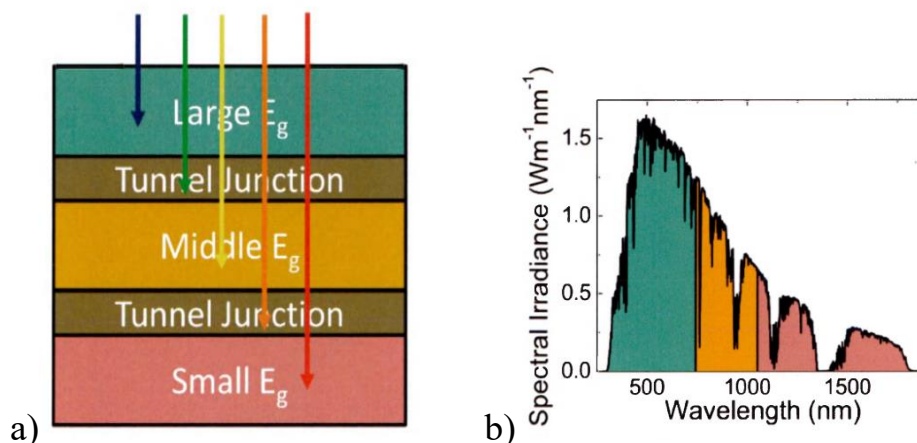
Keng zonali yarimo'tkazgich materiallari (band gapi $E_g \geq 2$ eV bo'lgan) o'ziga xos optik va elektr xususiyatlari bilan ajralib turadi va ayniqsa quyosh elementlari, optoelektronika, ultrabinafsha (UV) detektorlar, yuqori harorat va yuqori chastotali qurilmalar uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Ularning optik xossalari, avvalo, yorituvchi fotonlarning yutilishi (absorbsiya), aks ettirilishi (refleksiya), o'tkazilishi (transmissiya) va sinishi (refraksiya) bilan tavsiflanadi. Keng zonali materiallarda, ayniqsa, ultrabinafsha diapazonda yuksak yutilish ko'effitsiyenti kuzatiladi, bu esa ularni UV-detektor va fotoelektrik konversiya qurilmalari uchun qulay qiladi. Masalan, ZnO, GaN, AlGaN, SiC kabi keng zonali yarimo'tkazgichlar quyosh spektrining qisqa to'lqinli qismini samarali yutib, uzoq to'lqinli fotonlarni pastki qatlamlarga o'tkazish xususiyatiga ega. Bu holat ko'pqatlamli quyosh elementlarida yuqori samaradorlikka olib keladi. Bunday materiallarning refraktiv ko'effitsiyenti yuqori bo'lib, ular orasida optik interferensiya kuchliroq ifodalanadi va shuning uchun ularni antirefektiv qoplamalar bilan birga qo'llash zarur bo'ladi. Keng zonali materiallarning elektr xossalari esa, ularning zaryad tashuvchilar harakatchanligi, o'tkazuvchanlik darajasi, dielektrik doimiysi, p-n o'tish shakllanishi va elektron teshik juftliklarining rekombinatsiya tezligi kabi omillar bilan belgilanadi [5].

Bugungi kungacha ko'pqatlamli quyosh elementlari asosan III-V materiallaridan ishlab chiqilgan, chunki ular turli xil zarrali energiya diapazonlari (E_g) kombinatsiyalarini yaratish uchun qulay va nisbatan oddiy aralashmalar hosil qilish imkonini beradi. Ko'pqatlamli elementlarni hosil qilishda ularni alohida fizik joylashgan qismlarga ajratish uchun nurlarning bo'linishidan foydalanish mumkin bo'lsa-da, ushbu ishda e'tibor yagona kristall panjarasiga ega bo'lib, elementlar qatlamlari ustma-ust joylashgan monolitik qurilmalarga qaratilgan. Bunday

qurilmalarda, turli zarrali energiyaga ega kontaktlar quyosh spektrini samaraliroq qabul qilish uchun qo'llaniladi. Eng katta zarrali energiyali material yuqori qismga, eng kichik zarrali energiyali material esa pastki qismga joylashtiriladi, bu esa foton energiyalarining materiallarning zarrali energiyalariga yaxshiroq moslashishini ta'minlaydi. Bu jarayon issiqlik yo'qotishlari va fotonlarning o'tkazilish yo'qotishlarini kamaytirishda juda muhimdir. Chunki, qisqa to'lqin uzunlikli (yuqori energiyali) fotonlar yarimo'tkazgichning yuzasiga yaqinroq yutiladi, uzun to'lqin uzunlikli fotonlar esa qurilmaning chuqur qatlamlarida yutiladi [4, 8].

Agar qatlamlar joylashuvi teskari bo'lsa: eng kichik E_g material yuqorida, eng katta E_g material esa pastda joylashgan bo'lsa, qisqa to'lqinli (yuqori energiyali) fotonlar eng kichik E_g materialda yutilib, kuchli issiqlik yo'qotishlariga olib keladi. Bu holatda elektronlar materialning yuqori o'tkazuvchanlik tarmog'iga ko'tarilib, keyin pastki qismga tushib issiqlik sifatida yo'qotiladi. Uzun to'lqinli (kam energiyali) fotonlar esa yuqori qatlamlardan o'tib, pastki qatlamda joylashgan eng katta E_g material tomonidan yutilmaydi, chunki foton energiyasi ushbu materialning zarrali energiyasidan past bo'ladi.

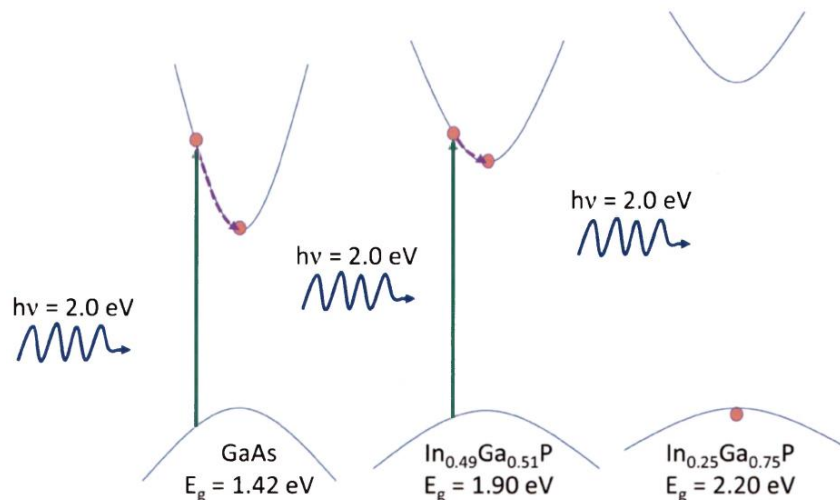
Metamorfik ko'pqatlamli quyosh elementlari ushbu dissertatsiyaning asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib, ular III-V ikkilik materiallarning uchlik va to'rtlik aralashmalar hosil qilib, optimal zarrali energiya kombinatsiyalarini yaratishga imkon beradigan aralashmalar tuzish qobiliyatidan foydalangan holda ishlab chiqiladi.



1-rasm. Moddalarning taqiqlangan zo'nalari nanometirda

grafik ko'rinishi

3-rasm. Monolitik uchqatlamli qurilmaning sxematik ko'rinishi, unda turli to'liqin uzunlikdagi tushuvchi fotonlar qurilmada qayerda yutilishi ko'rsatilgan, bu sxematik tarzda rangli o'qchalar bilan ifodalangan (chapda), shuningdek, grafik tarzda qaysi qatlam (yuqoridagi ko'k-yashil, o'rta sariq, pastki pushti) qaysi to'liqin uzunlikdagi fotonlarni yutishini ko'rsatadi [3, 7].



2-rasm. Turli to'liqinli kenglikdagi yarim o'tkazgichlarda 2.0 eV foton qanday yutilishi yoki o'tishi sxematik tarzda ko'rinishi.

2-rasmda past kenglikdagi yarim o'tkazgichda (1.42 eV GaAs) yutilish natijasida termalizatsiya yo'qotilishi yuzaga keladi, bu chapdagi E-k diagrammasidagi katta bo'shashish (binafsha chiziqli o'q) orqali ifodalanadi. Juda yuqori kenglikdagi yarim o'tkazgichda (2.20 eV $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{P}$, o'ngda) esa foton o'tib ketadi. Fotonni energiyasidan biroz pastroq kenglikdagi yarim o'tkazgichda (1.90 eV $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$, o'rtada) yutish termalizatsiya yo'qotilishini minimal darajaga kamaytiradi [5].

Keng zonali materiallarda issiqlik bilan qo'zg'aluvchi o'z-o'zidan o'tkazuvchanlik darajasi past bo'lgani sababli, ular yuqori haroratlarda ham past shovqin bilan ishlay oladi va yuqori chastotali elektron qurilmalarda afzalliklarga ega. Masalan, GaN va SiC materiali asosida tayyorlangan qurilmalar yuqori kuchlanish va yuqori quvvatli ishlash rejimida barqaror ishlay oladi, bu esa ular

orqali katta elektr toklarini samarali boshqarishga imkon beradi. Elektrik xususiyatlarning yana bir muhim jihati — bu materiallarda zaryad tashuvchilarning harakatchanligidir; GaN va ZnO kabi materiallarda elektronlarning harakatchanligi juda yuqori bo'lib, bu yuqori tezlikda ishlovchi tranzistorlar va kuchaytirgichlar ishlab chiqish uchun keng imkoniyatlar yaratadi [4-6]. Keng zonali materiallarda p–n o'tishlarni hosil qilish murakkab bo'lishi mumkin, ayniqsa p-tipli domanlantirishda, lekin zamonaviy epitaksiya texnologiyalari yordamida bu muammo bosqichma-bosqich hal qilinmoqda. Fotoelektrik jihatdan esa, keng zonali materiallar yuqori E_g ga ega bo'lganligi sababli ularning fotoyutilish chegarasi UV spektrgacha cho'ziladi, bu ularni quyosh elementlarining yuqori qatlamlarida qo'llashga imkon beradi. Ularning fotoinduksiyalangan zaryad tashuvchilarining hayot muddati nisbatan uzun bo'lib, ichki kvant samaradorligi yuqori ko'rsatkichlarga erishadi. Aynan shuning uchun, keng zonali yarimo'tkazgichlar asosida ishlab chiqilgan metamorfik ko'pqatlamli quyosh elementlari, har bir qatlamda turli E_g qiymatlari bo'lgan materiallardan foydalanib, quyosh nurlanish spektrining barcha hududlaridan maksimal darajada foydalanishga erishiladi. Bu esa umumiy energiya konversiyasi samaradorligini oshiradi. Shuningdek, bu turdagi materiallar yuqori nurlanishga chidamliligi va kimyoviy barqarorligi tufayli aerokosmik qurilmalarda, sun'iy yo'ldoshlar, yuqori haroratli va agressiv muhitda ishlaydigan energetik tizimlar uchun eng maqbul tanlov hisoblanadi. Shu sababli, keng zonali materiallarning optik va elektr xossalarini chuqur o'rganish, ularning strukturaviy xususiyatlari va tarkibiy kompozitsiyalarini aniqlash zamonaviy quyosh energetikasining innovatsion yo'nalishlari uchun muhim ilmiy-texnik asos yaratadi [4].

Keng zonali yarimo'tkazgich materiallari ichida AlN (alyuminiy nitridi), SiC (kremniy karbidi) va TiO₂ (titan(IV) oksidi) o'zining noyob fizikaviy, kimyoviy va optoelektron xossalari bilan ajralib turadi. Alyuminiy nitridi (AlN) taxminan 6,2 eV gacha yetuvchi juda keng taqiqlangan zona (band gap) energiyasiga ega bo'lib, bu uni yuqori chastotali, yuqori haroratli va yuqori

kuchlanishli qurilmalar uchun juda qulay materialga aylantiradi. AlN yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi ($285 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) va past dielektrik yo'qotishlar bilan ajralib turadi, bu esa uni yuqori tezlikdagi elektron qurilmalar, akustik to'lqinli filtrlar va LED texnologiyalarida muhim materialga aylantiradi. Shuningdek, AlN ultrabinafsha (UV) diapazonida yuqori optik shaffoflikka ega bo'lib, uni UV-detektorlar va dielektrik substratlar sifatida ham qo'llash imkonini beradi [1-4].

SiC (kremniy karbidi) esa taxminan 2,3 eV dan 3,3 eV gacha bo'lgan keng zonaga ega turli polimorflarga (masalan, 4H-SiC, 6H-SiC) ega bo'lib, u o'zining yuqori dielektrik buzilish kuchlanishi, yuqori tozalikka ega kristall struktura va yuqori issiqlikka chidamliligi bilan mashhur. SiC materiallari o'ta kuchlanishli va yuqori haroratli elektronikada (masalan, MOSFET, JFET, Schottky diodlar) keng qo'llaniladi, ayniqsa, avtomobil sanoati va energiya konversiyasi sohalarida samarali ishlash ko'rsatkichlari namoyon etadi.

SiC materialining yuqori elektron harakatchanligi ($1000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ gacha) va yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi uni quvvat elektronikasida kremniyga nisbatan kuchli raqobatchiga aylantirgan. TiO₂ (titan (IV) oksidi) esa taxminan 3,0–3,2 eV oralig'idagi E_g qiymatiga ega bo'lib, u ko'proq optik ilovalar, ayniqsa, fotoinduksiya asosidagi qurilmalar (masalan, fotokatalizatorlar, quyosh elementlari va UV-fotodetektorlar) uchun muhim ahamiyatga ega. TiO₂ ning anatase va rutile shakllari turli optik va elektr xossalarga ega bo'lib, ayniqsa, anatase fazasi yuqori fotokatalitik faollik ko'rsatadi. Bu materialning kimyoviy barqarorligi va ultrabinafsha spektridagi yutilish xususiyati uni quyosh nurlaridan himoya qiluvchi qoplamalarda, shuningdek, DSSC (dye-sensitized solar cell) tipidagi quyosh batareyalarida keng qo'llanilishiga olib kelgan. Shuningdek, TiO₂ nanozarralari nanoelektronika, sensortexnika va biologik ilovalarda ham yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda [3-9].

Ushbu materiallarning barchasi o'zining keng zonali tabiatiga ko'ra, yuqori energiyali fotonlarni yutish, yuqori haroratda elektr barqarorligi, nurlanishga chidamlilik va ekologik xavfsizligi sababli zamonaviy yuqori samarali

optoelektron qurilmalar uchun strategik ahamiyatga ega hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, AlN, SiC va TiO₂ kabi materiallarning optik, elektr va strukturaviy xossalarini chuqur o'rganish, ularning asosida yuqori samarali quyosh elementlari, fotodetektorlar va boshqa nano- va optoelektron qurilmalar ishlab chiqish yo'lida muhim ilmiy-texnik yechimlar yaratadi [3-9].

Quyosh elementlarining asosiy turlari, ularning fizik tuzilmasi va ishlash mexanizmlari o'rganildi. Ko'pqatlamli va monolitik qurilmalar yuqori samaradorlikka ega bo'lishi uchun zarrali energiyalar mosligi muhim ekani asoslab berildi.

Taqiqlangan zona kengligi (bandgap) 2 eV dan yuqori bo'lgan keng zonali materiallarning fizik mohiyati, afzalliklari va ularning fotoelektrik tizimlardagi o'rni o'rganildi. Ularning yuqori haroratga chidamliligi va optik barqarorligi tufayli ilg'or quyosh elementlarida muhim material sifatida e'tirof etildi.

Keng zonali materiallarning yuqori yorug'lik o'tkazuvchanligi, ultrabinafsha nurlanishni yutish xususiyati, elektr izolyatsionligi va fotostabil holatda ishlashi kabi optik va elektr parametrlar tahlil qilindi. AlN, SiC, TiO₂ kabi materiallar bu yo'nalishda asosiy namuna sifatida ko'rsatildi.

Adabiyotlar

1. Taylor, A. D., Sun, Q., Goetz, K. P., An, Q., Schramm, T., Hofstetter, Y., Litterst, M., Paulus, F., & Vaynzof, Y. (2021). A general approach to high-efficiency perovskite solar cells by any antisolvent. *Nature Communications*, 12(1), 1–11.
2. Petrov, A.A.; Ordinartsev, A.A.; Fateev, S.A.; Goodilin, E.A.; Tarasov, A.B. Solubility of Hybrid Halide Perovskites in DMF and DMSO. *Molecules* 2021, 26, 7541.
3. Liu, C., Cheng, Y. B., & Ge, Z. (2020). Understanding of perovskite crystal growth and film formation in scalable deposition processes. *Chemical Society Reviews*, 49(6), 1653.

4. Schröder, S., Herffurth, T., Duparré, A., & Harvey, J. E. (2011). Impact of surface roughness on the scatter losses and the scattering distribution of surfaces and thin film coatings. *Optical Fabrication, Testing, and Metrology IV*, 8169(September), 81690R.
5. Ali Akhavan Kazemi, M., Jamali, A., & Sauvage, F. (2021). A Holistic Study on the Effect of Annealing Temperature and Time on CH₃NH₃PbI₃-Based Perovskite Solar Cell Characteristics. *Frontiers in Energy Research*, 9(October), 1–10.
6. S6] Bush, K. A., Rolston, N., Gold-Parker, A., Manzoor, S., Hausele, J., Yu, Z. J., Raiford, J. A., Cheacharoen, R., Holman, Z. C., Toney, M. F., Dauskardt, R. H., & McGehee, M. D. (2018). Controlling Thin-Film Stress and Wrinkling during Perovskite Film Formation. *ACS Energy Letters*, 3(6), 1225–1232.
7. Lee, J. W., Lee, D. K., Jeong, D. N., & Park, N. G. (2019). Control of Crystal Growth toward Scalable Fabrication of Perovskite Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 29(47).
8. Unger, E. L., Kegelmann, L., Suchan, K., Sörell, D., Korte, L., & Albrecht, S. (2017). Roadmap and roadblocks for the band gap tunability of metal halide perovskites. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(23), 11401–11409.
9. Babbe, F., Masquelier, E., Zheng, Z., & Sutter-Fella, C. M. (2020). Flash Formation of IRich Clusters during Multistage Halide Segregation Studied in MAPbI_{1.5}Br_{1.5}. *Journal of Physical Chemistry C*, 124(45), 24608–24615.