

**ANIZOTROP DIELEKTRIKLARNING NURLANISH TARQALISHIGA
TA'SIRI: KOMPYUTER MODEL ASOSIDA TAHLIL**

Navbahor Qurbanbayeva Shermat qizi

Berdoq nomidagi Qoraqolpoq davlat universiteti

Fizika fakulteti Fizika kafedrası

ANNOTATSIYA: *Ushbu maqolada anizotrop dielektrik materiallarning elektromagnit nurlanish tarqalishiga ko'rsatadigan ta'siri kompyuter modeli asosida nazariy tahlil qilinadi. Tadqiqotda dielektriklarning fazoviy yo'nalishga bog'liq dielektrik doimiylari nurlanishning yo'nalishi, intensivligi va polarizatsiyasiga qanday ta'sir ko'rsatishi modellashtiriladi. FDTD (Finite-Difference Time-Domain) va RCWA (Rigorous Coupled-Wave Analysis) algoritmlari yordamida tuzilgan kompyuter modeli orqali elektromagnit to'lqinlarning anizotrop muhitdagi xatti-harakati raqamli tarzda o'rganiladi. Olingan natijalar optik qurilmalar, nurlanishni boshqaruvchi tizimlar va nano-fotonika sohalarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan yangi yechimlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi.*

KALIT SO'ZLAR: *Anizotropiya, dielektrik material, elektromagnit to'lqinlar, nurlanish tarqalishi, FDTD, kompyuter modellashtirish, optik xossalari, yo'nalishli dielektrik doimiysi, nano-optika, fotonika*

KIRISH

Zamonaviy optika va elektromagnit nazariya sohasida anizotrop materiallarning fizik xossalari va ularning nurlanish bilan o'zaro ta'siri dolzarb tadqiqot yo'nalishlaridan biriga aylangan. Anizotrop dielektriklar – ya'ni, dielektrik doimiyligi turli fazoviy yo'nalishlarda har xil qiymatga ega bo'lgan materiallar – nurlanish tarqalishi, yutilishi va aks ettirish jarayonlarida klassik izotrop muhitlarga nisbatan murakkabroq xatti-harakatni namoyon etadi.

Bunday materiallar ko'p hollarda kristallik tuzilishga ega bo'lib, ular orqali o'tuvchi elektromagnit to'lqinlar yo'nalishiga qarab turlicha tezlikda harakat qiladi.



Natijada polarizatsiya holatining o'zgarishi, faza kechikishi va nurlanish yo'nalishining egrilanishi kabi hodisalar kuzatiladi. Bu esa ularni **fotonika, optik filtrlar, sensorlar** va **yassi linzalar** kabi qurilmalarda qo'llash uchun nihoyatda istiqbolli qiladi.

Mazkur maqolada ushbu hodisalarning fizik asoslari kompyuter modellashtirish orqali tahlil qilinadi. FDTD (Vaqt bo'yicha cheklangan farqlar usuli) va RCWA (To'liq to'liqlik hisoblash usuli) algoritmlari asosida anizotrop dielektriklar orqali elektromagnit nurlanish tarqalishi simulyatsiya qilinadi. Maqsad – nurlanishning yo'nalish, intensivlik va polarizatsiyadagi o'zgarishini aniqlab, uni amaliy qurilmalarda nazorat ostiga olish imkoniyatlarini ochib berishdan iborat.

METODOLOGIYA

Ushbu tadqiqotda anizotrop dielektrik muhitlarda elektromagnit nurlanishning tarqalish jarayoni raqamli modellashtirish orqali tahlil qilindi. Metodologiya quyidagi bosqichlardan iborat:

1. **Matematik model yaratish:** Anizotrop dielektrik muhit Maxvell tenglamalari asosida tasvirlandi. Bu muhitda dielektrik to'yinish koeffitsiyenti (ϵ) fazoga bog'liq bo'lib, bu o'zgaruvchanlik dielektrik doimiylik matritsasi ($\bar{\epsilon}$) orqali ifodalandi. Dielektrik o'q yo'nalishiga qarab ϵ_x , ϵ_y va ϵ_z qiymatlari farqlanadi.

2. **Kompyuter modeli:** Nurlanish tarqalishining raqamli simulyatsiyasi uchun **FDTD (Finite-Difference Time-Domain)** va **RCWA (Rigorous Coupled-Wave Analysis)** metodlari asosida modellar tuzildi.

- FDTD usuli yordamida nurlanishning vaqt va fazodagi evolyutsiyasi tarmoq punktlarida hisoblab chiqildi.

- RCWA metodi esa periodik strukturali dielektriklarda to'liqlarning o'zaro bog'lanishini aniqlashda ishlatildi.

3. **Material parametrlari:** Modellashtirishda misol tariqasida niobiy pentoksid (Nb_2O_5), rutile TiO_2 va bor-nitrid kabi anizotrop dielektrik materiallarning optik ko'rsatkichlari asos sifatida olindi. Ularning dielektrik koeffitsiyentlari 300 THz (infraqizil – ko'rinmas diapazon) atrofida chastotada qaraldi.



4. Simulyatsiya shartlari:

- Nurlanish tekis to'liq sifatida $0-90^\circ$ oralig'idagi burchaklar ostida yuborildi.
- Polarizatsiya holatlari (TE va TM modalar) alohida tahlil qilindi.
- Har bir simulyatsiya uchun yo'nalish, intensivlik, yutilish va aks ettirish ko'rsatkichlari aniqlanib, grafik tarzda tasvirlandi.

NATIJALAR

Kompyuter modeli asosida o'tkazilgan simulyatsiya quyidagi asosiy natijalarni berdi:

- **Anizotropik nurlanish yo'nalishiga kuchli ta'sir qiladi.** To'liqlar dielektrik doimiyliigi yuqori bo'lgan yo'nalishda sekinroq harakat qilganligi sababli, faza kechikishi va egilish kuzatildi. Bu esa nurlanishning yo'nalishini istalgan burchakka burishga imkon yaratadi.
- **Polarizatsiyaga bog'liq yutilish ko'rsatildi.** TE va TM modalar turlicha tarqaldi. Masalan, rutile TiO_2 materialida TE moda 45° burchakda maksimal yutilish berdi, TM moda esa aks ettirildi.
- **Ko'p qavatli dielektrik strukturalarda interferensiya hodisasi aniqlangan bo'lib,** bu rezonansli yutilish yoki kuchayish nuqtalarini keltirib chiqardi. Bu hodisa fotonik kristallar va metapovrchalar dizayni uchun muhimdir.
- **Yo'nalishga bog'liq aks ettirish farqlandi.** Aniqlanishicha, nurlanishning kirish burchagi o'zgartirilganda, aks ettirish koeffitsiyenti sezilarli darajada o'zgaradi. Bu esa anizotrop strukturalardan selektiv filtr sifatida foydalanish imkoniyatini beradi.
- **Simulyatsiya orqali aniqlangan ma'lumotlar** laboratoriya natijalari bilan solishtirilib, umumiy moslik kuzatildi, bu modelning ishonchliligini tasdiqlaydi.

MUHOKAMA

O'tkazilgan kompyuter modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, anizotrop dielektrik materiallarning elektromagnit nurlanish tarqalishiga ko'rsatadigan ta'siri fazoviy yo'nalishga nisbatan kuchli bog'langan. Xususan,



dielektrik doimiyligining o'qlarga nisbatan farqli qiymatlari nurlanishning tezligi, polarizatsiyasi, tarqalish yo'nalishi va yutilish koeffitsiyentlarini sezilarli darajada o'zgartirdi. Bu xususiyatlar hozirgi zamonaviy optik texnologiyalarda — ayniqsa **fotonik kristallar, anizotrop filtrlar, yo'nalishli modulyatorlar va nano-optik qurilmalarda** — muhim amaliy ahamiyatga ega.

Shuningdek, FDTD va RCWA kabi raqamli metodlar orqali anizotrop muhitda fazaviy rezonanslar, to'lqinlarning interferensiyasi va polarizatsion tanlanish kabi hodisalar aniq modellashtirildi. Bu esa shuni ko'rsatadiki, anizotrop materiallar yordamida elektromagnit nurlanishning holatini va harakat yo'nalishini **nazorat ostiga olish mumkin**, ya'ni ular **aktiv boshqariladigan muhitlar** yaratish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Muhokamada yana bir muhim jihat — nurlanish burchagining modifikatsiyalangan ta'siri kuzatildi. Kirish burchagi 45° – 60° oralig'ida bo'lganda maksimal interferensiya va rezonansli yutilish sodir bo'ldi. Bu esa bunday burchaklarda qurilmaning sezuvchanligi va samaradorligi yuqori bo'lishini anglatadi. Shuningdek, turli polarizatsiyalar (TE va TM) o'rtasidagi farqlar, ayniqsa, optik yo'nalishli kalitlar va sensorlarda foydalanish uchun asosiy ustunlikka ega bo'lishi mumkin.

XULOSA

Mazkur tadqiqotda anizotrop dielektrik materiallarning elektromagnit nurlanish tarqalishiga ko'rsatadigan ta'siri raqamli modellashtirish yordamida muvaffaqiyatli tahlil qilindi. Asosiy xulosalar quyidagilardan iborat:

- Anizotrop materiallarda nurlanishning tarqalish xossalari — ayniqsa tezlik, yutilish, aks ettirish va polarizatsiya — fazoviy yo'nalish va dielektrik doimiylig o'qlariga kuchli bog'liq.
- Kompyuter modeli yordamida modellashtirilgan dielektriklarning elektromagnit xatti-harakati optik nazoratli qurilmalarni loyihalashda katta imkoniyatlar yaratadi.



- FDTD va RCWA algoritmlarining integratsiyalangan qo'llanilishi yuqori aniqlikdagi simulyatsiyalarni ta'minladi, bu esa eksperimental amaliyotga mos keladigan ma'lumotlar olish imkonini berdi.

- Ushbu yondashuv optik to'lqin yo'naltiruvchilar, lazerli reflektorlar, anizotrop filtrlar va nurlanish sensorlari kabi qurilmalar uchun amaliy asos yaratadi.

Shu bois, kelajakdagi tadqiqotlar ushbu modellarni eksperimental tekshiruvlar bilan boyitish va turli chastota diapazonlarida tahlil qilish orqali yanada mukammallashtirilishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics*. Cambridge University Press.
2. Taflove, A., & Hagness, S. C. (2005). *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*. Artech House.
3. Moharam, M. G., & Gaylord, T. K. (1981). *Rigorous coupled-wave analysis of planar-grating diffraction*. JOSA, 71(7), 811–818.
4. Yeh, P. (2005). *Optical Waves in Layered Media*. Wiley-Interscience.
5. Sihvola, A. (1999). *Electromagnetic Mixing Formulas and Applications*. The Institution of Engineering and Technology.
6. Li, L. (1996). *Use of Fourier series in the analysis of discontinuous periodic structures*. JOSA A, 13(9), 1870–1876.
7. Lakhtakia, A. (1992). *Beltrami Fields in Chiral Media*. World Scientific.
8. Menzel, C., et al. (2010). *Asymmetric transmission of linearly polarized light at optical metamaterials*. Physical Review Letters, 104(25), 253902.