

РЕЗЮМЕ. В статье теоретически исследовано влияние механической деформации на вольт-амперную характеристику (ВАХ) туннельных диодов на основе GaSb. На основе модели Эсаки эффекты деформации были введены в выражение туннельного тока через редуцированную эффективную массу. Результаты моделирования показывают, что в отсутствие деформации ВАХ соответствует классической теории и существующим экспериментальным данным. Установлено различное влияние сжатия и растяжения, что демонстрирует возможность управления параметрами туннельных диодов посредством механических факторов. Такой подход открывает новые перспективы для нанoeлектронных устройств.

SUMMARY. This paper presents a theoretical study of the effect of mechanical deformation on the current-voltage characteristics (I-V) of GaSb-based tunnel diodes. Based on the Esaki model, deformation effects were incorporated into the tunneling current expression through the reduced effective mass. The modeling results show that, in the absence of deformation, the I-V characteristics agree well with classical theory and available experimental data. The distinct influence of compressive and tensile strain was identified, demonstrating that the parameters of tunnel diodes can be controlled by mechanical factors. This approach provides new opportunities for nanoelectronic devices.

VAZN FUNKSIYA BILAN BERILGAN INTEGRAL GEOMETRIYA MASALASINI MODELASH TIRISH

G.M.Djaykov – *texnika fanlari doktori (DSc), dotsent*

Nukus davlat texnika universiteti

G.Sh.Mamutova – *pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent*

Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti

Tayanch so'zlar: integral tenglamalar, Fur'e o'zgarishi, teskari masala, tartibga solish, funktsiyani tiklash.

Ключевые слова: интегральные уравнения, преобразование Фурье, обратная задача, регуляризация, восстановление функции.

Key words: integral equations, Fourier transform, inverse problem, regularization, function reconstruction.

Kirish. “Tomografiya” atamasi yunoncha τομος (kesim) va γραφете (yozmoq) so'zlaridan olingan bo'lib, so'zma-so'z tarjimada “kesimlarni yozib olish” ma'nosini anglatadi. Tomografiya – bu turli xil signallar (elektromagnit, akustik yoki boshqa fizik maydonlar)ning obyekt orqali o'tishini tahlil qilish yordamida shaffof bo'lmagan jismlarning ichki tuzilishini o'rganishga imkon beruvchi usuldir.

Tomografik metodlar amaliy qo'llanilishning nihoyatda keng doirasiga ega. Tibbiyotda ular invaziv bo'lmagan diagnostika, jarrohlikdagi navigatsiya hamda nurli terapiyani rejalashtirishda qo'llaniladi. Sanoatda tomografiya usullari buzmasdan nazorat vositasi sifatida xizmat qilib, materiallardagi yashirin nuqsonlar va yoriqlarni aniqlash imkonini beradi. Xavfsizlik sohasida kompyuter tomografiyasi taqiqlangan buyumlarni aniqlash va aeroportlarda yo'lovchilar oqimini nazorat qilishda qo'llaniladi. Geologiya va seismologiyada tomografik tahlil usullari foydali qazilmalarni izlash hamda tektonik jarayonlarni prognozlashda yordam beradi. Fizika sohasida tomografiya termoyadro qurilmalarida plazma diagnostikasini amalga oshirishda, astronomiyada esa kosmik obyektlarning tuzilishini tadqiq etishda qo'llaniladi. Bundan tashqari, arxeologiyada tomografiya qadimiy artefaktlarni ularning yaxlitligini buzmasdan o'rganish imkonini yaratadi.

Shunday qilib, tomografiya fizika, matematika va hisoblash texnologiyalarini birlashtiruvchi multidissiplinar yo'nalishni tashkil etadi. Tasvirlarni sonli qayta tiklash algoritmlarini rivojlantirish hamda teskari masalalarni yechishda regularizatsiya usullarini takomillashtirish fundamental va amaliy ahamiyatga ega bo'lgan dolzarb ilmiy vazifadir.

Ishda integral geometriyaning ikki masalasi o'rganilgan: birinchisi – berilgan silliq vaznli funksiya yordamida to'g'ri chiziqli kesmalari bo'yicha funktsiyani qayta tiklash masalasi; ikkinchisi esa - xuddi shu masalaning zaif noto'g'ri qo'yilgan ko'rinishi, ya'ni integral geometriya masalasi qo'zg'alish bilan bog'liq. Integral geometriyaning birinchi masalasi uchun analitik teskari formula chiqarilgan.

U silliq vaznli funktsiyalar sinfi uchun amal qiladi. Shuningdek, yechimlarning mavjudligi va yagonaligi haqidagi teorema isbotlangan [1].

Maqolada fazoda berilgan funktsiyani integrallash ochilish burchagi va vertikal simmetriya o'qiga ega bo'lgan konuslar oilasi bo'yicha amalga oshiriladigan Radon almashtirishlarining yangi sinfi ko'rib chiqiladi. Bunday almashtirishlar nazariy va amaliy nuqtai nazardan, ayniqsa sintetik aperturali radiolokatsiya, tibbiy va texnik diagnostikada, shuningdek, yadro sanoatida vizualizatsiya bilan bog'liq masalalarda qiziqish uyg'otadi. Asosiy e'tibor ko'rsatilgan almashtirish uchun aniq analitik inversiya formulasini chiqarishga qaratilgan bo'lib, bu formula konuslar bo'yicha integral natijalardan boshlang'ich funktsiyani tiklash imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuvning o'ziga xos xususiyati uning barqarorligi va integrallash konuslari oilasi geometriyasiga cheklov bo'lgan holatlarda ham qo'llanilishidir. Maqolada ikki o'lhovli holatda usulning sonli yechimi keltirilgan va sintetik ma'lumotlarni qayta ishlashda taklif etilgan inversiyaning afzalliklari namoyish etilgan. Ish qat'iy matematik tahlilni amaliy algoritmlar bilan uyg'unlashtiradi, bu esa uni amaliy matematika sohasi mutaxassislari hamda vizualizatsiya masalalari bilan shug'ullanayotgan muhandislar uchun dolzarb qiladi [2].

Ushbu ishda integral geometriyaning vaznli funktsiyali parabola bo'yicha masalasi tahlil qilinadi. Chiziqli sohada parabola oilasi bo'yicha integral geometriya masalasining yechimi yagona ekanligi isbotlangan va teskari formula topilgan. Bundan tashqari, yechimning analitik ifodasi hamda uning Sobolev fazolarida barqarorligi bo'yicha baholar keltirilgan. Shunday qilib, masalaning zaif noto'g'ri qo'yilganligi ko'rsatilgan. Teskari formulani topishda to'g'ri va teskari Furie almashtirishlaridan foydalanilgan. Integral geometriya masalasini buzilishlar (ya'ni xatoliklar) bilan ko'rib chiqishda, yechimning barqarorligi uchun teskari operator uzluksiz bo'ladigan ikkita funktsional fazo topilgan. Normani aniqlashda faqat chekli sondagi ko'paytmalar qatnashadi, shuning uchun bu masala zaif no-to'g'ri qo'yilgan hisoblanadi [3].

Maqola funksiyani integrallash ochiq burchak qamrovidagi aylana yoylari bo'yicha amalga oshiriladigan Aylana Yoyli Radon almashtirishini (Circular Arc Radon, CAR) o'rganishga bag'ishlangan. Ushbu almashtirish termoakustik va fotoakustik tomografiya, ultratovushli va intravaskulyar vizualizatsiya masalalari uchun, ayniqsa fizik cheklovlar to'liq aylana traektoriyalaridan foydalanishga imkon bermaydigan vaziyatlarda muhim ahamiyatga ega. Mualliflar CAR-almashtirishini teskarilashning samarali sonli algoritmini ishlab chiqdilar. Algoritm yoylar geometriyasini analitik tahlil qilishga va integral operatorni diskretlashning yopiq sxemasini qurishga asoslangan bo'lib, bu iteratsiyalarsiz inversiyani amalga oshirish imkonini beradi. Bu yuqori hisoblash samaradorligini ta'minlaydi, chunki oldindan qurilgan sxema tasvirlarni tiklashda ko'p marta ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, cheklangan burchak qamrovi natijasida yuzaga keladigan qayta qurish artefaktlarini kamaytirishga qaratilgan modifikatsiyalangan sonli algoritm taklif etilgan. Bunday yondashuv qiziqish sohasini qisman qamrab olish sharoitida sifatli tasvirlar olish muhim bo'lgan amaliy tomografiya masalalarida CAR-almashtirishlarini qo'llash imkoniyatlarini kengaytiradi [4].

Maqolada mezoskopik sochilish sharoitida ko'rinadigan yoki yaqin infraqizil nurlanishni qo'llaydigan tomografik vizualizatsiyaning yangi usuli taqdim etilgan. Bu rejimda to'qimalar to'g'ridan-to'g'ri kuzatishni istisno qilish uchun etarlicha kuchli yorug'likni sochadi, lekin shu bilan birga yo'naltirilgan o'tgan va qaytgan signallar saqlanib qoladi. Yorug'lik tarqalishining matematik modeli Grin funksiyasidan foydalanib, nurlanishning ko'chish tenglamasini sochilish tartiblari bo'yicha yoyishga asoslanadi. Teskari masala Radon almashtirishini inversiya qilish masalasi sifatida shakllantiriladi, biroq klassik tomografiyadan farqli o'laroq, integrallar to'g'ri chiziqlar bo'yicha emas, balki sinir nurlar bo'yicha olinadi. Bu esa obyekt atrofida zondlash qurilmasini aylantirmasdan teskari sochilish konfiguratsiyasida tasvirni qayta qurish imkonini beradi. Tasvirni tiklashning algebraik algoritmi taklif etilgan va sonli amalga oshirilgan, shuningdek, rentgen tomografiyasida qo'llaniladigan filtrlangan teskari proeksiya usuliga o'xshash analitik formula olindi. Usul sonli modellash-tirishda samaradorligini namoyish etdi va biologik to'qimalarni noinvaziv diagnostika qilish uchun istiqbol-larni ochadi [5].

Maqolada detektorga tushuvchi (sochilmagan) rentgen yoki gamma-nurlarga qo'llaniladigan ikki o'lchovli Radon almashtirishi va uning variantlariga asoslangan tomografik vizualizatsiyaning matematik prinsiplari ko'rib chiqiladi. Mualliflar uch o'lchovli vizualizatsiya uchun qo'llanilishi mumkin bo'lgan, Kompton sochilishiga asoslangan ikkita yangi umumlashtirishni taqdim etadilar. Ular konus shaklidagi Radon almashtirishlari deb ataladi. Ulardan bi-rinchisi kollimatsiyalangan detektorlar bilan vizualizatsiya prinsiplari bilan bog'liq, ikkinchisi esa Kompton kameralari prinsiplari bilan bog'liq va ma'lum shartlarda teskari bo'lishi mumkin. Ushbu usullar biomeditsinaviy vizuali-zatsiya tizimlarining kelajakdagi rivojlanishida muhim rol o'ynashi mumkin [6].

Ishda SPECT vizualizatsiyasi uchun Anger kamerasiga nisbatan fotonlarni hisoblash statistikasi va energiya ajratish qobiliyatini yaxshilash salohiyatiga ega bo'lgan Kompton sochilish kamerasining (elektron-kollimatsiya-langan kamera deb ham ataladi) qo'llanishi ko'rib chiqiladi. Ikkita detektor tekisligida Kompton sochilish hodisalarini

aniqlash orqali foton manbaining konus sirtidagi joyla-shuvini aniqlash mumkin. Manba taqsimotining uch o'lchovli rekonstruksiya uchun yangi algoritmlar zarur. Mualliflar cheksiz uzunlikdagi tekislikda yig'ilgan konus sirtiga proeksiyalarning to'liq to'plami mavjud bo'lganda, rekonstruksiya masalasi nafaqat analitik yechimga ega ekanligini, balki o'lchov noaniqliklari bo'lmagan taqdirda ortiqcha aniqlangan bo'lishini ko'rsatadilar. Detektor tekisliklari orasida perpendikulyar o'tuvchi fotonlarga asoslangan to'g'ridan-to'g'ri rekonstruksiyaning ikkita yondashuvi taklif etilgan. Noaniqliklar bo'lmagan sharoitlarda algoritmlarning samaradorligini namoyish etuvchi sonli modellash-tirish natijalari keltirilgan, shuningdek, real o'lchov sharoitlarida bo'lishi mumkin bo'lgan modifikatsiyalar muhokama qilingan [7].

Ishda termoakustik tomografiyada (fotoakustik yoki otoakustik tomografiya deb ham ataladi) yuzaga keladigan matematik masalalar, usullar va muammolarning umumiy ko'rinishi taqdim etilgan. Mualliflar tasvirlarni qayta qurishda qo'llaniladigan matematik modellarni ko'rib chiqadilar va tasvirlar sifatini yaxshilash, algoritmlarning aniqligi hamda usulning amaliy ta'tbiqi bilan bog'liq dolzarb muammolarni muhokama qiladilar. Ish ushbu istiqbolli tibbiy vizualizatsiya sohasida yuzaga keladigan masalalarni tahlil qilish va yechish uchun samarali matematik yondashuvlarni rivojlantirishga qaratilgan [8].

Masalaning qo'yilishi va analitik echimi.

Quyidagi masalani ko'rib chiqamiz:

$$\int_{\Gamma(x,y)} g(x,\xi)u(\xi,\eta)ds = f(x,y) \quad (1)$$

bu yerda $g(x;\xi) = a_0 + a_1(x - \xi) + a_2(x - \xi)^2$,

$$\Gamma(x; y) = \{(x; y) : |x - \xi| = y - \eta\}.$$

(1)- tenglamani quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^y (a_0 + a_1(y - \eta) + a_2(y - \eta)^2) u(x - (y - \eta), \eta) d\eta + \quad (2)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^y (a_0 + a_1(y - \eta) + a_2(y - \eta)^2) u(x + (y - \eta), \eta) d\eta = f(x, y)$$

(2)-tenglamani ikkala qismiga x o'zgaruvchi bo'yicha Furye almashtirishini qo'llaymiz:

$$\int_0^y \hat{u}(\lambda, \eta) (a_0 + a_1(y - \eta) + a_2(y - \eta)^2) \cos(\lambda(y - \eta)) d\eta = \sqrt{2} \hat{f}(\lambda, y)$$

Endi oxirgi tenglamaning ikkala qismiga y bo'yicha Furye almashtirishini qo'llaymiz:

$$\begin{aligned} & \int_0^{+\infty} e^{-i\mu y} \int_0^y \hat{u}(\lambda, \eta) (a_0 + a_1(y - \eta) + a_2(y - \eta)^2) \cos(\lambda(y - \eta)) d\eta dy = \\ & = \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} e^{-i\mu\eta} e^{i\mu\tau} \hat{u}(\lambda, \eta) \cos(\lambda\tau) (a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2) d\tau d\eta = \\ & = \int_0^{+\infty} e^{i\mu\eta} (\hat{u}(\lambda; \eta)) d\eta \int_0^{+\infty} e^{-i\mu\tau} \cos(\lambda\tau) (a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2) d\tau \end{aligned}$$

yoki

$$I = \hat{u}(\lambda, \mu) \int_0^{+\infty} e^{-i\mu\tau} \cos(\lambda\tau) (a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2) d\tau$$

Natijada

$$\hat{u}(\lambda, \mu) = \frac{\sqrt{2} \hat{f}(\lambda, \mu)}{(-\frac{ia_0\mu}{\lambda^2\tau^2 - \mu^2} - a_1 \frac{\mu^2 + \lambda^2\tau^2}{(\lambda^2\tau^2 - \mu^2)^2} + a_2 \frac{2i\mu(-\mu^2 - 3\lambda^2\tau^2)}{(\lambda^2\tau^2 - \mu^2)^3})}$$

μ va λ parametrlari bo'yicha teskari Fure almashtirishini qo'llab quyidagi natijani olamiz:

$$u(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sqrt{2} \tilde{f}(\lambda, \mu)}{\left(\frac{i a_0 \mu}{\lambda^2 \tau^2 - \mu^2} - a_1 \frac{\mu^2 + \lambda^2 \tau^2}{(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^2} + a_2 \frac{2i\mu(-\mu^2 - 3\lambda^2 \tau^2)}{(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^3} \right)} d\mu d\lambda$$

Keltirilgan formulani analitik yo'l bilan hisoblash ancha qiyin jarayon hisoblanadi. Birinchi sabab, $(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^k$ ifodasi maxsus nuqtalarga ega bo'lib, ular uchinchi tartibgacha polyuslarni vujudga keltiradi. Bu holat integralni hisoblashda maxsus regularizatsiya usullarini joriy etish yoki kontur integrallari yo'lini tanlash zarurligini taqozo etadi.

Ikkinchi sabab, Fure o'zgarishlari yadrolarining ossilyatsiyasi bilan bog'liq. Ushbu tebranish xususiyati tufayli hatto nisbatan sodda $f(x, y)$ uchun ham integrallar yopiq analitik shaklga keltirilmaydi.

Shuning natijasida ratsional yadroli ikki karrali integral amalda analitik tarzda yechilmaydi. Real eksperimental ma'lumotlar uchun esa bunday usulning qo'llanilishi amaliy ahamiyat kasb etmaydi. Bundan tashqari, natijalar maxsus nuqtalar yaqinida integralni qanday talqin qilishga bog'liq bo'lib, ifoda barqarorligini shovqin ta'sirida tahlil qilish rezonans ko'paytirgichlar sabab yanada murakkablashadi. Shu sababli, mazkur formula asosan sonli usullar orqali echiladi va barqaror yechim olish uchun turli xil regularizatsiya yondashuvlari qo'llaniladi.

Adabiyotlar

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решение некорректных задач. – Москва: «Наука», 1979.
2. Ralston T.S. et al Inverse scattering for high-resolution interferometric microscopy. // Optics letters . 2006. V. 31, №24.
3. Бегматов А.Х., Очилов З.Х. Задача интегральной геометрии с разрывной весовой функции. // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук", 2009. Т. 429, №3. – С. 295-297.
4. Ambartsoumian G., Moon S. A series formula for inversion of the V-line Radon transform in a disc. // Computers & Mathematics with Applications. 2013. Т. 66, №9. – P. 1567-1572.
5. Бухгейм А.Л. О некоторых задачах интегральной геометрии. // Сибирский математический журнал. 1972. Т. 13. №1. – С. 34-42.
6. Gouia R. Some problems of integral geometry in advanced imaging. 2011.
7. Ambartsoumian G., Moon S. A series formula for inversion of the V-line Radon transform in a disc. // Computers & Mathematics with Applications. 2013. Т. 66. №. 9. – С. 1567-1572.
8. Florescu L., Markel V. A., Schotland J. C. Inversion formulas for the broken-ray Radon transform. // Inverse Problems. 2011. Т. 27, №2.

РЕЗЮМЕ. Maqolada integral tenglamalar asosida funksiyani tiklash masalasi ko'rib chiqilgan. Masalada berilgan ma'lumotlardan foydalanib, funksiyani qayta tiklash uchun Fur'e o'zgarishlari va ularning teskari ko'rinishlari qo'llaniladi. Olingan yechimning analitik hisoblanishi qiyinligi ta'kidlangan, chunki yadro tarkibidagi polyuslar va ossilyasiyalovchi funksiyalar natijada integralning yopiq ko'rinishda ifodalanishiga to'sqinlik qiladi. Shuningdek ma'lumotlardagi shovqinga sezgirligi masalani faqat sonli usullar yordamida yechish zarurligini ko'rsatadi.

РЕЗЮМЕ. В статье рассматривается задача восстановления функции на основе интегральных уравнений. Для решения задачи используется преобразование Фурье и его обратная форма, позволяющие восстановить функцию по заданным данным. Отмечается, что аналитическое вычисление полученного решения крайне затруднено из-за наличия полюсов в ядре и осциллирующих функций, препятствующих получению замкнутого вида интеграла. Кроме того, высокая чувствительность к шумам в данных указывает на необходимость применения численных методов решения. В статье анализируется эффективность используемых подходов и подчёркивается важность регуляризации в процессе восстановления.

SUMMARY. The paper addresses the problem of function reconstruction based on integral equations. The approach relies on Fourier transforms and their inverses to recover the function from given data. It is emphasized that the analytical evaluation of the obtained solution is highly challenging due to the presence of poles in the kernel and oscillatory functions, which prevent the integral from being expressed in a closed form. Moreover, the strong sensitivity to noise in the data highlights the necessity of numerical methods. The article analyzes the efficiency of the applied methods and underlines the importance of regularization in the reconstruction process.

УДК 538.91; 5038.945

МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК ПЕРЕХОДЫ В ЛЕГИРОВАННЫХ ЛАНТАНОВЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ПРИМЕСЯМИ МАЛОГО РАДИУСА

Г.К.Жумабаева – доктор философии физико-математических наук

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: *La* асосли купратлар, ковакли ташувчилар, металл/ўрта ўтказгич-диэлектрик ўтишлар, кучсиз легирланган режим, ўрта легирланган режим, ток ташувчилар концентрацияси.

Ключевые слова: купраты на основе *La*, дырочные носители, металл/сверхпроводник-диэлектрик переходы, слаболегированный режим, сверхлегированный режим, критическая концентрация носителей.

Key words: *La*-based cuprates, hole carriers, metal/superconductor-insulator transitions, lightly doped regime, overdoped regime, critical carrier concentration.

Введение. Механизмы локализации носителей заряда и металл-диэлектрик переходов в нелегированных и легированных материалах были предметами

многочисленных споров на протяжении многих десятилетий [1-10]. Металл-диэлектрик переходы в легированных полупроводниках и купратных соединениях