

Մ.Գ. ՏՐԱՎԱԶՅԱՆ, Հ.Գ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

**ՆԱՆՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԻՋԱԿԱՅՔՈՒՄ ԳԾԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Կատարվել է նանոմետրական միջակայքում գծային չափումների իրականացման և միասնականության ապահովման վերլուծություն՝ ներառելով նաև չափման միջոցները: Քննարկվել է նանոօբյեկտների գծային պարամետրերի չափման համար ատոմա-ուժային մանրագնման մեթոդի կիրառման հնարավորությունը:

Առանցքային բառեր. նանոմիջակայք, գծային չափումներ, ատոմա-ուժային, մանրագնում, չափեր:

Ներածություն: 21-րդ դարի սկիզբը բնութագրվեց գիտության և տեխնիկայի նոր ուղղության, այն է՝ նանոտեխնոլոգիայի (ՆՏ) ձևավորմամբ և շարունակական զարգացմամբ: Նանոտեխնոլոգիաների ի հայտ գալն առաջադրեց մի շարք յուրահատուկ խնդիրներ, որոնք պայմանավորված են կառուցվածքների շատ փոքր՝ նանոմետրական չափերով: Այսպես, միկրոպրոցեսորային ինտեգրալ սխեմաների արտադրությունում 2014-16 թթ.-երին ներդրվեցին 10 նմ և 7 նմ տեխնոլոգիական նորմերը: Այս հանգամանքները ընդգծում են նանոմետրական միջակայքում տարրերի գծային չափումների մեթոդների և միջոցների ստեղծման անհրաժեշտությունը, ինչպես նաև այդպիսի չափումների միասնականության ապահովումը:

Ինչպես ցանկացած գիտատեխնիկական ուղղության, այնպես էլ ՆՏ-ի առաջընթացն անխզելիորեն կապված է չափման միջոցների, մեթոդների և համակարգերի զարգացման հետ: Ընդ որում, ՆՏ-ի նվաճումների լայնամասշտաբ ներդրումը գիտության, տեխնիկայի և արտադրության մեջ անհնար է առանց չափման միջոցների ու մեթոդների առաջընթաց զարգացման, իսկ չափագիտական ապահովման ոլորտում ճշգրիտ և հավաստի չափումները ՆՏ-երի հաջող և անվտանգ զարգացման հիմքն են [1]: Այս հենքի վրա կարևոր արդիական խնդիր է դառնում միկրո-և նանոմիջակայքում փոքր երկարությունների ճշգրիտ չափման բարձր զգայնությամբ մեթոդների և միջոցների մշակումը, ինչպես նաև այդ չափումների չափագիտական ապահովումը:

Նանոչափագիտություն: ՆՏ-ի ինտենսիվ զարգացումը պահանջում է նանոմետրական միջակայքում նանոօբյեկտների գծային պարամետրերի չափումների, առաջին հերթին, երկարության չափագիտական ապահովման համակարգի ստեղծում: ՆՏ-երին բնորոշ այսպիսի առանձնահատկությունները հանգեցրին

չափագիտության մեջ նոր ուղղության՝ **նանոչափագիտություն** զարգացմանը, որով պայմանավորված են նանոչափային մակարդակում չափումների միասնականության ապահովման տեսական և գործնական բոլոր տեսակետերը: Ներկայումս ընդունված է նանոչափագիտություն հետևյալ տարածված սահմանումը. նանոչափագիտությունը գիտություն է նանոօբյեկտների հետազոտման դեպքում չափումների, պահանջվող ճշտության հասնելու եղանակների և դրանց միասնականության ապահովման միջոցների ու մեթոդների մասին: Նանոչափագիտությունը գործողություններ է կատարում նանոչափային օբյեկտների հետ, ինչը կանխորոշում է մի շարք առաջնահերթ պրոբլեմների լուծման անհրաժեշտությունը: Այսպես, նանոմետրական միջակայքում անհրաժեշտ կլինի ստեղծել մեթոդներ և գծային չափումների միջոցներ, ինչպես նաև ապահովել չափումների միասնականությունը՝ պահպանելով մետրի չափանմուշի հետ բացարձակ կապակցումը:

Ներկայումս նանոմետրական միջակայքում երկարությունների չափումների դեպքում սահմանային հնարավորություններին հասնելու համար օգտագործվում է սարքերի որոշակի դաս, որոնք հիմնված են այնպիսի ֆիզիկական սկզբունքների վրա, ինչպիսիք են լազերային ինտերֆերաչափությունը, փուլաչափությունը, ռաստրային էլեկտրոնային և օպտիկական մանրազննումը, տեսաձրող զոնդային մանրազննումը իր մի շարք տարբերակներով [1, 2]: Թվարկված սարքավորումների մեծ մասում անհրաժեշտ է իրականացնել զոնդի ճշգրիտ տարածական դիրքավորում տեղեկության ստացման պահանջվող տիրույթում: Ընդ որում, գծային տեսաձրման միջակայքը, ըստ յուրաքանչյուր կողողինատի, կարող է տարածվել միավոր նանոմետրից մինչև հարյուրավոր և ավելի միկրոմետրեր, իսկ կողողինատի պահանջվող ճշտությունը՝ նանոմետրի տասնորդական մասեր:

Զոնդային և ատոմաուժային մանրադիտակներ: Նանոնյութերի և նանոկառուցվածքների գծային չափումների և ախտորոշման համար հիմնական դեր են խաղում զոնդային մանրազննման մեթոդները: Հատկապես տեսաձրող զոնդային մանրադիտակները հնարավորություն տվեցին ոչ միայն դիտել մակերևույթի ատոմամոլեկուլային կառուցվածքը, այլ նաև կոնստրուկտավորել կառուցվածքները ատոմական մակարդակում նախօրոք տրված հատկություններով: Նանո-, ենթանանոմետրական միջակայքերում երկարության չափման սահմանային արժեքներին կարելի է հասնել բարձր թույլատրող ընդունակությամբ (ԹԸ) տեսաձրող թունելային և ատոմաուժային մանրազննման (ԱՌԽ) մեթոդների [3,4] օգտագործման դեպքում:

Համառոտակի դիտարկենք նանոտեխնիկայում ավելի տարածված ԱՌԽ տարբերակը [4]: Այն առաջարկվել է 1986 թ. և հիմնված է շատ մոտ դասավոր-

ված պինդ մարմինների միջև ուժային փոխազդեցության էֆեկտի վրա: Ի տարբերություն թունելային մանրազննման՝ ԱՌԻՄ-ը պիտանի է ինչպես հաղորդիչ, այնպես էլ ոչ հաղորդիչ մակերևույթների վրա տարբեր միջավայրերում չափումների կատարման համար: ԱՌԻՄ-ի կարևոր տարրը առաձգական հատկություններ ունեցող միկրոզոնդն է (կանթիլեվերը), որի ծայրին տեղադրված է $R \sim 10$ նմ կորությամբ շառավիղով մեկուսիչ ասեղը (զոնդը): Կանթիլեվերի տիպային չափերն են՝ երկարությունը 100...200 մկմ, հաստությունը՝ մոտ 1 մկմ: Եռակորդիանատ մանիպուլյատորի (այեզոէֆեկտի հատկությամբ օժտված 3D-սկաներ) միջոցով մոտեցվում է հետազոտվող նմուշի մակերևույթը $d \approx 0,1 \div 10$ նմ հեռավորության վրա: ԱՌԻՄ-ում նմուշի մակերևույթի զոնդավորումը կատարվում է հատուկ զոնդային սվիչի միջոցով: Այն ունակ է բարձր ճշտությամբ տեղափոխելու միկրոզոնդը նմուշի մակերևույթով երեք չափումներով՝ մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ մինչև նանոմետրի հազարերորդ, իսկ նմուշի հարթության մեջ՝ նանոմետրի հարյուրերորդ մասերի ճշտությամբ:

Կանթիլեվերի սայրը սովորաբար ամրացվում է զսպանակի վրա, որը պատրաստված է փոքր մեխանիկական կոշտությամբ բարձակի տեսքով: Նմուշի և սայրի միջև միջատոմական (միջմոլեկուլային) փոխազդեցության արդյունքում բարձակը շեղվում է: Շեղման չափը գրանցվում է սվիչների միջոցով, որոնք մեխանիկական տեղափոխությունը ձևափոխում են էլեկտրական ազդանշանի: Կանթիլեվերի դիրքի բարձրությունը գրանցվում է ունակային կամ լազերային սվիչներով: Մանիպուլյատորը հետադարձ կապի համակարգի միջոցով փոխում է նմուշի դիրքը, որպեսզի սայրի և միկրոօբյեկտի միջև փոխազդեցության ուժը $F(d) \approx 10^{-8} \div 10^{-12}$ Ն տեսածրման գործընթացում մնա հաստատուն: Այդ դեպքում գրանցվում են միկրոզոնդի ծայրի բոլոր երեք կոորդինատները, ինչը թույլ է տալիս ստանալ մակերևույթի եռաչափ պատկերը:

ԱՌԻՄ-ի թույլատրողականությունը մակերևույթի նորմալի երկայնքով համեմատելի է թունելային մանրադիտակի համապատասխան պարամետրի հետ, իսկ հորիզոնական ուղղությամբ ԹԸ կախված է d հեռավորությունից և սայրի կորության R շառավիղից: Թվային հաշվարկը [1,2,3] ցույց է տվել, որ երբ $R = 0,5$ նմ և $d = 0,4$ նմ, ապա երկայնական ԹԸ կազմում է ~ 1 նմ: Հարկ է նշել, որ ԱՌԻՄ-ի երկայնական ԹԸ բարձրանում է R -ի և d -ի փոքրացման դեպքում: Այսպես, երբ $d = 0,1$ նմ, ապա Վան-դեր-Վաալսի վանողական ուժերի տիրույթում ԱՌԻՄ-ի երկայնական ԹԸ կարող է հասնել նանոմետրի տասնորդական մասերի:

Նկ.1-ում ցույց են տրված ատոմա-ուժային մանրադիտակի ընդհանրացված կառուցվածքային սխեման և պատկերի ձևավորման ազդանշանի ընթացքը [4], իսկ նկ.2-ում՝ պիրոլիտային գրաֆիտի (ա) և փայլարի (բ) մակերևույթների

առնվազն 100 նմ հեռավորության վրա: ԱՌԻՄ տեխնիկայի այսպիսի սահմանափակման հետևանքով ատոմա-ուժային մանրազննման չափումներում պահանջվում են ռելիեֆի տարրի հայտնի պրոֆիլով էտալոնային կառուցվածք և այդ տարրի ատեստավորված չափ:

Եզրակացություն: Նանոչափագիտությունը ամենաինտենսիվ զարգացող գիտատար ոլորտներից է: Այստեղ սահմանային հնարավորությունների հասնելը պայմանավորված է տեսաձրող զոնդային մանրազննման բարձր թույլատրող ընդունակությամբ մեթոդների օգտագործմամբ՝ զուգակցելով օպտիկական և էլեկտրոնային պատկերացանցային, տեսաձրող թունելային և ատոմա-ուժային, լազերային ինտերֆերաչափման և փուլաչափման եղանակների հետ:

Իհարկե, նկարագրված սարքավորումները միայն այն դեպքում կարող են համարվել չափման միջոցներ, երբ դրանց պարամետրերը համապատասխան ձևով ատեստավորվում, ստուգաչափվում և ստուգվում են, ընդ որում, վերջինս կատարվում է անմիջականորեն չափումների գործընթացում:

Նանոմետրական տիրույթում գծային չափումների չափագիտական ապահովման կարևորագույն խնդիրը չափի իրական կրիչների ստեղծումն է, այն է՝ մակերևույթի ծրագրավորվող նանոռելիեֆով չափեր, որոնք ապահովում են ամենաբարձր ճշտությամբ չափման միջոցների ստուգաչափում: Փոքր երկարության հենց այդպիսի ծավալային չափերը կամ համեմատման չափանմուշները չափի նյութական կրողներն են, որոնք թույլ են տալիս իրականացնել նանոմետրական միջակայքում չափիչ սարքավորումների հիմնական պարամետրերի համալիր ստուգաչափում և վերահսկողություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Метрологическое обеспечение измерений длины в микрометровом и нанометровом диапазоне и их внедрение в в микроэлектронику и нанотехнологию / **Тодуа П.А. и др.** //Микросистемная техника.- 2008.- № 1. - С.38-44; - № 2. - С 24-39; - №3. - С. 25-32.
2. **Новиков Ю.А., Раков А.В., Тодуа П.А.** Прямое измерение ширины линии на атомно-силовом микроскопе // Измерительная техника. - 2008. - № 5. - С. 10-12.
3. **Todua P.A.** Check of the quality of fabrication of test objects with a trapezoidal profile // Proceedings of SPIE. - 2008. - Vol.7042. - P. 704209-1-704209-8.
4. **Բունիաթյան Վ.Վ., Տրավաջյան Մ.Գ.** Նանոէլեկտրոնիկայի ճարտարագիտական հիմունքներ: Ուսումնական ձեռնարկ երկու մասով: Երկրորդ մաս.-Եր.: Ճարտարագետ, 2010.-304 էջ:

Մ.Գ. ԿՐԱՎԱԴՅԱՆ, Գ.Գ. ԱՏԱՏՐՅԱՆ
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ В
НАНОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Проведен анализ реализации и обеспечения единства линейных измерений в нанометровом диапазоне, включая также и средства измерения. Рассмотрена возможность использования метода атомно-силовой микроскопии для измерения линейных параметров нанообъектов.

Ключевые слова: нанодиапазон, линейные измерения, атомно-силовая микроскопия.

M.G. TRAVAJYAN, H.G. ASATRYAN
PECULIARITIES OF MEASURING LINEAR PARAMETERS IN
NANOMETER RANGE

The current uniformity state of linear measurements in the nanometer range, including tools for measurement are analyzed. The possibility of using the method of atomic force microscopy to measure the linear parameters of nano-objects is considered.

Keywords: nanorange, linear measurements, atomic force microscopy, measures.

ՀՏԴ 621.384.3

Վ.Կ. ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ, Ռ.Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Գ. ԲԱԲԱՅԱՆ
ՀԵԼԻՈՍՏԱՏԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈՂ

Հելիոստատի և ընդունիչի դիրքերն էական ազդեցություն ունեն համակարգի արդյունավետության վրա: Աշխատանքում ներկայացված է մաթեմատիկական մոդել, որը հնարավորություն է տալիս գնահատել հայելուց անդրադարձվող ճառագայթների արդյունավետ մակերեսը՝ հաշվի առնելով արեգակի, հելիոստատի և ընդունիչի դիրքերը:

Առանցքային բառեր. հելիոստատ, ընդունիչ, արևային էներգիա, արևի ճառագայթ:

Արեգակի դիրքի որոշումը: Հելիոստատային համակարգը հայելիներով և ընդունիչով կազմված մի համակարգ է, որտեղ հայելիները դասավորված են ընդունիչի շուրջը և շարժվում են այնպես, որ արևի ճառագայթները միշտ ուղղված են անշարժ ընդունիչի վրա [1]:

Արեգակի դիրքը որոշվում է նրա ազիմուտի և բարձրության անկյունների միջոցով [2] (նկ. 1):