



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۷۱۴۸

چاپ اول

اسفند ۱۳۹۲

INSO

17148

1st. Edition

Mar.2014

فناوری نانو - روش واسنجی بزرگنمایی Z
میکروسکوپ نیروی اتمی در سطوح جابجائی
زیرنانومتر با استفاده از پله‌های
تک‌اتمی Si (111)

**Nanotechnologies-Standard practice for
Calibrating the Z-magnification of an
atomic force microscopic at subnanometer
displacement levels using Si(111)
monotomic steps**

ICS:71.040.50

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
" فناوری نانو- روش واسنجی بزرگنمایی Z میکروسکوپ نیروی اتمی در سطوح جابجائی
زیرنانومتر با استفاده از پله‌های تک‌اتمی (111) Si"

رئیس:

میر کاظمی، سید محمد
(دکترای مواد)

سمت و/ یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت

دبیر:

عزیزی، روح الله
(کارشناسی ارشد نانومواد)

کارشناس شرکت کفا

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی پور، الهه
(کارشناس ارشد زیست شناسی)

کارشناس ستاد ویژه فناوری نانو

پوی پوی، حسن
(کارشناس ارشد شیمی)

کارشناس ستاد ویژه فناوری نانو
و دبیر کمیته فنی متناظر فناوری نانو

ثبات، زهرا
(کارشناس ارشد شیمی)

کارشناس پژوهشگاه صنعت نفت

چوخالچی زاده مقدم، امین
(کارشناس ارشد مواد)

کارشناس ستاد ویژه فناوری نانو

خانلری، محمد رضا
(دکترای فیزیک)

عضو هیئت علمی دانشگاه بین المللی
امام خمینی (ره) قزوین

سیفی، مهوش
(کارشناس مدیریت دولتی)

نایب رئیس کمیته فنی متناظر فناوری
نانو

صادق حسنی، صدیقه

پژوهنده ارشد پژوهشگاه صنعت نفت

(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)

عضو هیئت علمی پژوهشگاه سازمان
ملی استاندارد ایران

مسروری، حسن
(دکتری شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۳-۱ میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)
۲	۳-۲ محورهای مختصات
۲	۳-۳ صفحه (۱۱۱) سیلیسیم - Si (111)
۳	۳-۴ صفحه جایجایی x-y
۳	۳-۵ بزرگنمایی Z (به عبارت دیگر، حساسیت Z یا مقیاس Z)
۳	۴ اهمیت و کاربرد
۳	۵ نمونه واسنجی
۳	۶ دستگاه
۴	۷ روش کار
۵	۸ گزارش
۶	۹ عدم قطعیت
۷	۱۰ جایگزین بالقوه
۸	پیوست الف - ۱ (پیوست الزامی) روش تولید نمونه‌های Si(111) با پله‌هایی به ارتفاع یک اتم
۱۰	پیوست ب- (پیوست اطلاعاتی) کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد " فناوری نانو- روش واسنجی بزرگنمایی Z میکروسکوپ نیروی اتمی در سطوح جابجائی زیرنانومتر با استفاده از پله‌های تک‌اتمی (111) Si " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط ستاد توسعه فناوری نانو تهیه و تدوین شده و در چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۳۹۲/۸/۲۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM E 2530: 2006, Nanotechnology - Standard practice for calibrating the Z-magnification of an atomic force microscope at subnanometer displacement levels using Si (111) monatomic steps

مقدمه

مهمترین مساله در به کارگیری ابزار اندازه‌گیری، واسنجی (کالیبراسیون)¹ صحیح آنها در هنگام ساخت و بهره‌برداری است. میکروسکوپ نیروی اتمی² (AFM) یکی از ابزارهای بسیار دقیق اندازه‌گیری و نمایش سطح در مقیاس اتمی می‌باشد. برای اطمینان از نتایج حاصل از این روش اندازه‌گیری، نیازمند طراحی و انجام روش‌های واسنجی دقیق در ابعاد مختلف می‌باشیم. در این استاندارد روش واسنجی بزرگ‌نمایی در راستای Z میکروسکوپ نیروی اتمی در سطوح جابجائی زیرنانومتر با استفاده از پله‌های تک‌اتمی (Si 111) شرح داده شده است.

1 - Calibration

2 - Atomic Force Microscope

فناوری نانو- روش واسنجی بزرگنمایی Z میکروسکوپ نیروی اتمی در سطوح جابجائی

زیرنانومتر با استفاده از پله‌های تک‌اتمی (111) Si

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش واسنجی بزرگنمایی Z میکروسکوپ نیروی اتمی در مقیاس زیرنانومتر با استفاده از ارتفاع پله‌های تک‌اتمی (111) Si می‌باشد. این روش اندازه‌گیری، واسنجی مقیاس Z یک میکروسکوپ نیروی اتمی را با استفاده از ارتفاع پله تک اتمی نمونه (111) Si پوشش می‌دهد. این روش در شرایط محیطی و خلاء، زمانی که از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) در بالاترین حد بزرگنمایی Z استفاده شود و تغییر مکان Z در مقیاس‌های نانومتر و زیرنانومتر باشد، قابل اجرا است. این محدوده اندازه‌گیری زمانی استفاده می‌شود که AFM برای اندازه‌گیری سطوح نیمه‌هادی‌ها، سطوح نوری و سایر ترکیبات با فناوری پیشرفته به کار گرفته شود. مقادیر در واحدهای سیستم SI به کار گرفته شده است. مقادیر قرار گرفته در پرانتزها جهت اطلاع هستند. هشدار- این استاندارد تمام موارد ایمنی و استفاده از آن را لحاظ نکرده است و کاربر مسئول رعایت ایمنی و سلامتی کار و محدودیت‌های مقرراتی قبل از استفاده است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن استاندارد به آنها ارجاع شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/یا تجدید نظر، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. با این حال بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/تجدید نظر، آخرین چاپ و/یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است.

2-1 ISO 25178-2:2012, Specifies terms, definitions and parameters for the determination of surface texture by areal methods

2-2 ISO 25178-6, 2010-02-01, Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Areal -Part 6: Classification of methods for measuring surface texture

2-3 ISO/TS 21748: 2004, Guidance for the Use of Repeatability, Reproducibility and Trueness Estimates in Measurement Uncertainty Estimation

2-4 GUM: 1993, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

میکروسکوپی نیروی اتمی (AFM)

روش اندازه‌گیری توپوگرافی سطح است که در آن، ارتفاع سطح از نیروی مکانیکی جاذبه یا دافعه بین نوک سوزن و سطح بدست می‌آید.

۲-۳

محورهای مختصات

سامانه مختصاتی است که اندازه‌گیری‌های توپوگرافی سطح در آن انجام می‌شود. به‌طور معمول از یک سامانه مختصات عمود برهم که در آن محورها یک مجموعه دکارتی واقعی را تشکیل می‌دهند، استفاده می‌شود که در آن محور x معمولاً جهت روبش و هم‌راستا با خط میانه بوده و محور y در صفحه واقعی است و محور Z عمود بر آن به سمت بیرون (از ماده به محیط اطراف) است.

۳-۳

صفحه (۱۱۱) سیلیسیم - Si (111)

یک سطح تک بلور سیلیسیم است، این سطح با جهت‌گیری صفحه بلوری نزدیک به صفحه (۱۱۱) و یا احتمال رشد لایه بیرونی اکسیدی یا لایه اکسیدی طبیعی، در صورتی که با روش مناسب تهیه شده باشد، شامل تعداد زیادی از پله‌های تک اتمی مجزا و سطوح صاف اتمی بین آن‌ها خواهد بود.

۴-۳

صفحه^۱ جابجایی $x-y$

یک وسیله مکانیکی است که برای حرکت پروب نسبت به سطح (یا برعکس) در راستای دو محور مختصات در صفحه روی سطح نمونه استفاده می‌شود.

۵-۳

بزرگنمایی Z (به عبارت دیگر، حساسیت Z یا مقیاس Z)

اصطلاحی است که حساسیت خروجی دستگاه نیمرخ‌گیری^۲ سطح را به جا به جایی در راستای محور Z توصیف می‌کند.

1 - Stage
2- profiling

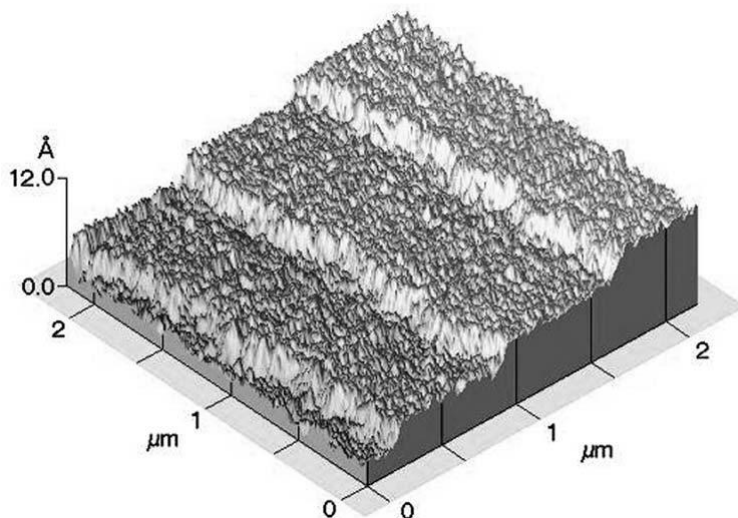
۴ اهمیت و کاربرد

استفاده دقیق از این روش می‌تواند به بزرگنمایی واسنج شده Z با قابلیت ردیابی در سیستم SI با عدم قطعیت تقریبی ۷٪ ($k=2$) بیش از گستره طول یک نانومتری منجر شود.

۵ نمونه واسنجی

ارتفاع فیزیکی پله، در مجاورت سطح Si (111) (شکل ۱ را ببینید) که در ۳-۱-۳ تعریف شده، شامل پله‌های تک اتمی بیشماری است که دارای مقدار میانگین ارتفاع پله واسنجی شده می‌باشد. مقدار واسنجی که به صورت مرسوم، بر اساس پارامتر شبکه سیلیسیم که به وسیله پراش اشعه ایکس^۱ تعیین شده، ۳۱۴ پیکومتر است (به پیوست ب مرجع ۱ مراجعه شود).

اما آنالیزهای اخیر (به پیوست ب مراجع ۲-۷ مراجعه شود) اندازه‌گیری‌های مستقلی را از منابع دیگری مد نظر قرار داده‌اند که مقدار پیشنهادی متداول $312 + 12 \text{ pm}$ ($k=2$) را ارائه می‌کند. این اختلاف در مقایسه با سایر منابع عدم قطعیت در روش‌های اندازه‌گیری توپوگرافی سطح در مقیاس زیرنانومتر، ناچیز است. اندازه‌گیری‌های بیشتری که با استفاده از فناوری‌های پیشرفته انجام خواهد شد، تغییرات بیشتری را در مقدار پیشنهادی بوجود آورده و عدم قطعیت آن را کاهش خواهند داد.



شکل ۱- تصویر سطح سیلیسیم با پله تک اتمی.

۶ دستگاه

این روش برای دستگاه‌هایی مانند میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) که توپوگرافی سطح را با توان تفکیک بالا در هر سه محور مختصات اندازه می‌گیرد، مناسب است. توان تفکیک عمودی (Z) باید نزدیک به ۰٫۱ نانومتر یا کمتر باشد که برای تفکیک ارتفاع پله ۰٫۳ نانومتری کافی است. توان تفکیک جانبی (X, Y) باید

برای تفکیک واضح پله‌های مجزا با ارتفاع تقریباً ۰٫۳ میکرومتر یا کمتر کافی باشد که این مقدار به نزدیکی جهت‌گیری سطح نرمال با جهت صفحه بلوری Si (111) وابسته است.

۷ روش کار

۱-۷ نصب، راه اندازی و واسنجی مقدماتی AFM را مطابق دستورالعمل‌های کارخانه سازنده انجام دهید.
 ۲-۷ نمونه Si(111) را بر روی نگهدارنده نمونه قرار داده و سطح Si(111) را طوری تنظیم کنید که لبه‌های پله تا حد امکان موازی محور Y صفحه جا به جایی X-Y باشد.
 ۳-۷ سطح تمیزی از نمونه شامل مجموعه‌ای نسبتاً هموار از پله‌ها و تراس‌ها^۱ را اندازه‌گیری کنید. از نواحی که در آن پله‌ها در نزدیکی نقص‌های سطحی تجمع پیدا کرده‌اند، اجتناب کنید.
 ۴-۷ سطحی را که حدوداً شامل پنج یا شش تراس و پله تک اتمی است، اندازه‌گیری کنید.
 ۵-۷ منطقه‌ای را که حدوداً دارای چهار زیرناحیه^۲ مستطیل شکل از پله‌های اندازه‌گیری شده است را انتخاب کرده و جدا نمایید، به‌گونه‌ای که هر زیر ناحیه به‌طور تقریبی در مرکز خود دارای یک تک پله باشد (شکل ۲). داده‌های توپوگرافی Z(x-y) در هر زیرناحیه باید شامل مجموعه‌ای از نیمرخ‌های Z(x) باشد که هر کدام یک پله تک لبه را در بر می‌گیرد.
 ۶-۷ برای هر نیمرخ، ارتفاع پله را با استفاده از الگوریتم پله تک لبه و با بکارگیری دو خط راست مناسب، همان‌طور که در شکل ۳ به صورت شماتیک نشان داده شده است، محاسبه کنید.
 H_{meas} به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$H_{meas} = (a_1 x_T + b_1) - (a_2 x_T + b_2)$$

که در آن:

x_T ، مختصه x در مرکز گذار پله‌ای

a_1, b_1 ، پارامترهای خط راست بالایی

a_2, b_2 ، پارامترهای خط راست پایینی

۷-۷ اگر نیمرخ سطح، دارای انحنای قابل ملاحظه‌ای باشد، باید دو خط راست با طول معادل و فاصله‌ای مساوی از مرکز گذار پله در راستای X باشد.

۸-۷ در هر زیرناحیه، میانگین ارتفاع پله بدست آمده از هر نیمرخ را محاسبه نموده و آن را برای تمام نیمرخ‌ها انجام دهید تا در نهایت میانگین ارتفاع پله برای تمام زیر ناحیه بدست آید.

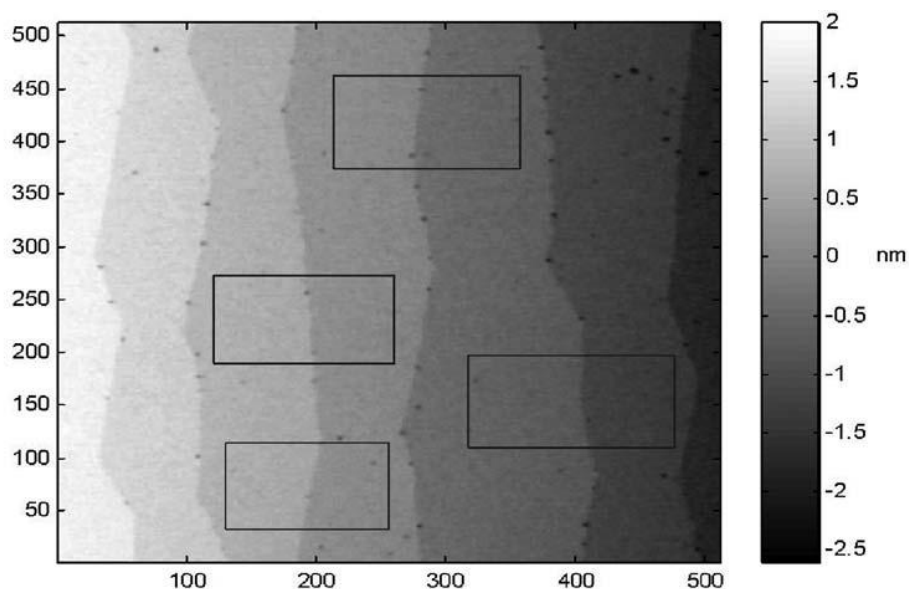
۹-۷ میانگین نتایج را برای ۴ ناحیه بدست آورده تا مقدار ارتفاع پله، (H_{meas}) حاصل شود، سپس انحراف معیار را برای هر ۴ ناحیه محاسبه کنید.

۱۰-۷ مقیاس Z دستگاه AFM را با اصلاح مقدار حساسیت روبش‌گر پیزوالکتریک یا بهره^۳ و با در نظر گرفتن نسبت زیر دوباره واسنجی کنید:

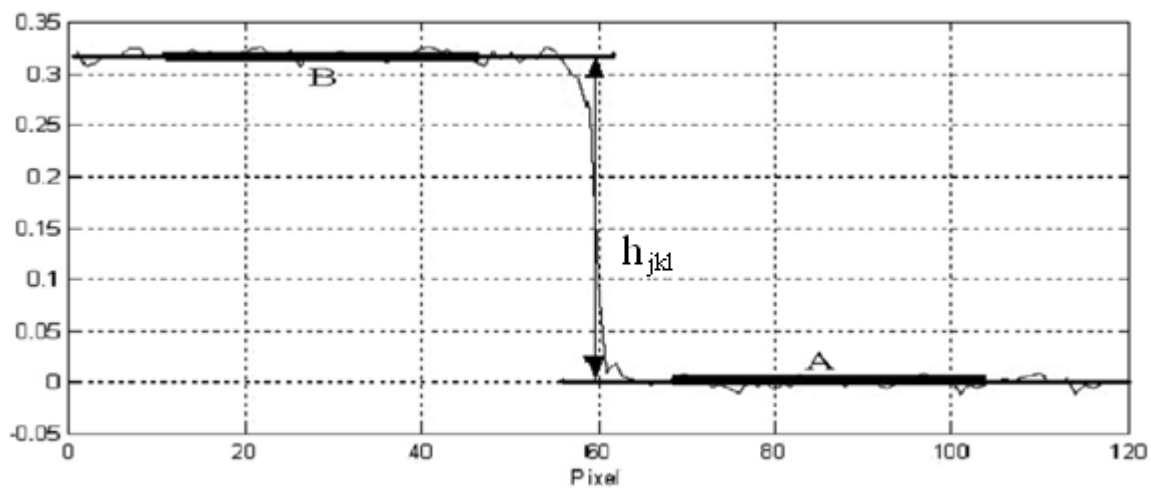
1 -Terraces
 2 -Subarea
 3 -Gain

$$R = 312 \text{ pm} / H_{meas}$$

۷-۱۰-۱ دستگاه‌های مختلف دستورالعمل‌های متفاوتی برای انجام این کار دارند. ممکن است برای رسیدن به یک نتیجه رضایت‌بخش، لازم باشد این عمل چندین بار تکرار شود.



شکل ۲- نمایش نواحی انتخاب شده



شکل ۳- نمایش پله - ارتفاع استفاده شده

۸ گزارش

گزارش باید شامل اطلاعات الزامی زیر باشد:

۸-۱ تاریخ انجام آزمایش؛

۸-۲ مشخصات کاربر دستگاه؛

- ۳-۸ درجه حرارت تقریبی محیط؛
- ۴-۸ توصیف نمونه شامل مشخصات فروشنده و شماره سریال نمونه؛
- ۵-۸ نوع، علامت تجاری، مدل و شماره سریال دستگاه مورد استفاده؛
- ۶-۸ تنظیمات بزرگنمایی دستگاه در هر سه جهت مختصات؛
- ۷-۸ تعداد کل زیرناحیه‌های اندازه‌گیری شده، موقعیت تقریبی و اندازه آن‌ها؛
- ۸-۸ تعداد تقریبی داده‌های هر نقطه در نیمرخ اندازه‌گیری شده و تعداد تقریبی نیمرخ‌های مورد استفاده برای یک زیرناحیه نوعی؛
- ۹-۸ مقدار میانگین ارتفاع (H_{meas}) با استفاده از فاکتورهای بزرگنمایی تعیین شده قبل از واسنجی؛
- ۱۰-۸ مقدار تصحیح، نسبت $312/H_{meas}$ ؛
- ۱۱-۸ یک نمودار نوعی از یک نیمرخ اندازه‌گیری شده؛
- ۱۲-۸ رابطه عدم قطعیت که تمامی منابع عدم قطعیت اعم از نوع A و B و همچنین عدم قطعیت ترکیبی که طبق GUM: ۱۹۹۳ محاسبه شده است را نشان می‌دهد؛
- ۱۳-۸ موردی که در زیر نشان داده شده، به‌عنوان نمونه، گستردگی اعتبار عدم قطعیت را در اندازه‌گیری پله NIST، با استفاده از پله‌های واسنجی اصلی نشان می‌دهد؛
- ۱-۱۳-۸ نوع A- (آماري) ($k=1$)
- الف- نوفه^۱ دستگاه و یکنواختی نمونه باید اندازه‌گیری شود. (ارزیابی توسط کاربر دستگاه) - ۲٪
- ب- نوفه دستگاه و یکنواختی نمونه Si (111) (ارزیابی توسط کاربر دستگاه) - ۲٪
- ۲-۱۳-۸ نوع B- ($k=1$)
- الف- غیر خطی بودن مقیاس Z (باید توسط کاربر دستگاه ارزیابی شود) - ۲٪
- ب- تخمین ارتفاع پله Si (111) - ۱/۹٪
- ۳-۱۳-۸ رابطه عدم قطعیت فوق برای دستگاهی است که به‌وسیله پله‌های Si (111) کالیبره شده و سپس برای اندازه‌گیری یک نمونه مجهول استفاده می‌شود. اگر هدف از واسنجی، تنها تعیین مقیاس دستگاه باشد، می‌توان در مثال بالا از اولین مورد نوع A چشم‌پوشی نمود.
- ۴-۱۳-۸ جمع درجه دوم مقادیر بالا به عدم قطعیت بسط یافته‌ای در حدود ۰.۷٪ منجر می‌شود ($k=2$) که در بخش ۴ آورده شده است.

۹ عدم قطعیت

۱-۹ عدم قطعیت استاندارد ترکیبی برای مقیاسی که دوباره واسنجی شده است، شامل (نوع A) انحراف معیار نسبی ($1\sigma / H_{meas}$) که در ۷-۹ بدست آمده و (نوع B) عدم قطعیت استاندارد نسبی ۱/۹٪ برای مقدار توصیه شده 312 pm می‌باشد، سایر اجزای مرتبط با دستگاه خاص نیز باید توسط کاربر دستگاه تخمین زده شوند. همه اجزا باید در درجه دوم اضافه شوند تا یک عدم قطعیت استاندارد ترکیبی حاصل شود.

۲-۹ سطح تازه ساخته شده Si(111) باید سطح صافی بوجود آورد که نسبت سیگنال به نوفه خوبی داشته باشد (یعنی ارتفاع پله به ناهمواری rms). به هر حال با گذشت زمان و کاهش کیفیت سطح Si(111) به دلیل رطوبت و اکسیژن موجود در محیط، نسبت سیگنال به نوفه به مقدار غیرقابل قبولی خواهد رسید که در آن زمان یک نمونه جدید مورد نیاز خواهد بود.

۱۰ جایگزین بالقوه

۱-۱۰ روش شرح داده شده در بخش ۷، فقط به نمونه پله تک اتمی Si(111) محدود نمی شود. روش های مشابهی می توانند با پله های شبکه ای نمونه هایی که از مواد مختلفی ساخته شده و دارای ارتفاع متفاوتی هستند (مانند پله های 1 nm سیلیسیم کاربرد)، توسعه یابند (به پیوست ب مراجع ۸-۹ مراجعه شود). همچنین می توان خطی بودن دستگاه را با استفاده از دو نمونه که دارای پله تک اتمی با ارتفاع مختلفی هستند، بررسی نمود.

پیوست الف

(الزامی)

روش تولید نمونه‌های Si(111) با پله‌هایی به ارتفاع یک اتم

الف-۱ روش تولید نمونه‌های Si(111) با پله‌هایی به ارتفاع یک اتم

حداقل یک منبع تجاری برای نمونه Si با پله اتمی در دسترس است. در این استاندارد دو روش تولید برای افرادی که می‌خواهند خودشان آن را بسازند، شرح داده شده است:

الف-۱-۱ نمونه Si(111) با پله تک اتمی می‌تواند با گرمایش در یک محفظه با خلاء بالا و یا به روش حکاکی^۱ شیمیایی مرطوب تولید شود (شکل الف-۱-۱ و الف-۱-۲ را ببینید) برای واسنجی ارتفاع پله، روش گرمایشی ترجیح داده می‌شود زیرا سطحی با کیفیت بهتر بدست می‌آید.

الف-۱-۲ میانگین عرض تراس^۲، w، به وسیله زاویه برش^۳ ویفر، θ ، از سطح هموار (111) و با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$w=0.314 \text{ nm}/\tan\theta$$

الف-۱-۳ روش گرمایی

گرم کردن می‌تواند به وسیله گرمایش ناشی از مقاومت خود نمونه یا بمباران الکترونی از پشت نمونه صورت گیرد.

الف-۱-۳-۱ تمیز کردن نمونه با استفاده از امواج اولتراسونیک

الف-۱-۳-۱-۱ عبور گاز از نمونه در 600°C برای بیش از 10 h

الف-۱-۳-۱-۲ برای حفظ یک خلاء سخت (7 pa تا کمتر از 10 pa) و اجتناب از آلودگی، سیکل حرارتی نمونه با افزایش درجه حرارت و حفظ نمونه به مدت یک دقیقه در 1200°C ، انجام می‌شود.

الف-۱-۳-۱-۳ خنک کردن سریع نمونه تا 900°C و به دنبال آن خنک کردن آهسته ($1^\circ\text{C}/\text{min}$) تا 700°C انجام می‌شود.

الف-۱-۳-۱-۴ خاموش کردن برق منبع حرارتی و برداشتن نمونه تا زمانی که دمای آن به دمای اتاق برسد.

الف-۱-۴ حکاکی شیمیایی مرطوب

بزرگ‌ترین تراسی را که می‌توان با این دستورالعمل تولید نمود، در حدود 200 nm می‌باشد (زاویه برش حدود 0.08°) که با سازوکار حکاکی محدود شده است. در این روش برای استفاده بی خطر از مواد شیمیایی و به ویژه برای جابجا کردن اسید هیدروفلوریک (HF)، ابزار مناسب و تجهیزات ایمنی مورد نیاز می‌باشد.

الف-۱-۴-۱ مخلوط ۴:۱ (حجمی) از $30\% \text{ H}_2\text{O}_2$: $98\% \text{ H}_2\text{SO}_4$ در دمای 40°C به مدت ۳۰ دقیقه برای حذف هر نوع پسماند آلی استفاده شود.

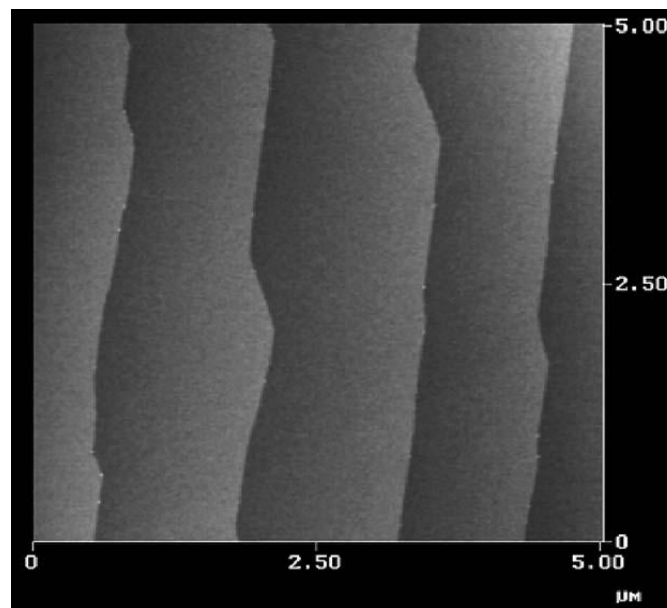
الف-۱-۴-۲ دو بار شستشو با آب فوق خالص در اولتراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه انجام شود.

1- Etching

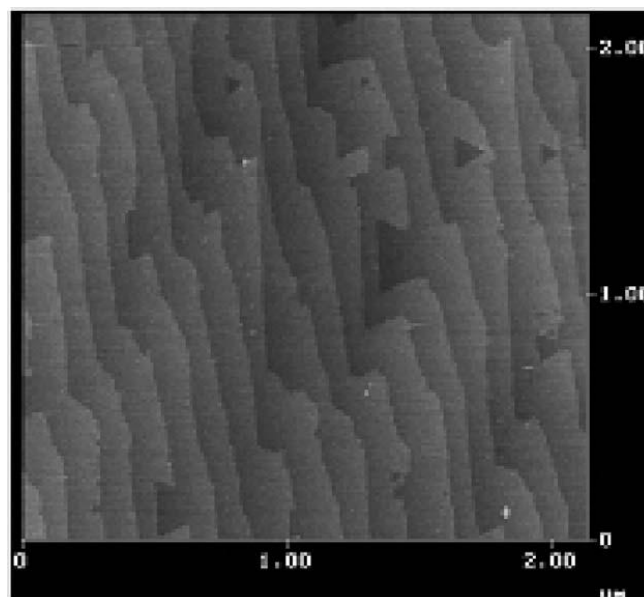
2 -Terrace

3 -Miscut

الف-۱-۴-۳ محلول HF 2% به مدت ۱ دقیقه برای حذف اکسیدهای طبیعی روی سطح استفاده شود.
 الف-۱-۴-۴ مخلوطی از H_2O_2 30% : HCl 35% : H_2O به نسبت ۱:۱:۵ در $80^\circ C$ به مدت ۱۰ دقیقه جهت حذف هر نوع آلاینده فلزی و برای اکسید نمودن دوباره سطح استفاده شود.
 الف-۱-۴-۵ دو بار شستشو با آب بسیار خالص در اولتراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه انجام شود.
 الف-۱-۴-۶ حکاکی نمونه‌ها در NH_4F 40% ضمن عبور حباب‌های آرگون به منظور کاهش اکسیژن حل شده در NH_4F انجام شود.
 الف-۱-۴-۷ شستشو با آب فوق خالص به مدت (۵ تا ۱۰) ثانیه انجام شود.



شکل الف-۱-۱- سطح تولید شده به روش حرارتی (برش 15°)



شکل الف-۱-۲- سطح تولید شده به روش حکاکی شیمیایی مرطوب (برش 1°).

پیوست ب
(اطلاعاتی)
کتابنامه

- (1) CODATA International Recommended Values of Fundamental Physical Constants, <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>.
- (2) Tsai, V. W., Vorburger, T., Dixon, R., Fu, J., Köning, R., et al, "The Study of Silicon Stepped Surfaces as Atomic Force Microscope Calibration Standards with a Calibrated AFM at NIST," in Characterization and Metrology for ULSI Technology: 1998 International Conference, D.G. Seiler, A.C. Diebold, W.M. Bullis, T.J. Shaffner, R. McDonald, and E.J. Walters, Eds., AIP Press, 1998, pp. 839-842.
- (3) Dixon, R. et al, "Silicon Single Atom Steps as AFM Height Standards," in Proc. SPIE 4344, Santa Clara, CA, March 2001.
- (4) Suzuki, M. et al, "Standardized Procedure for Calibrating Height Scales in Atomic Force Microscopy on the Order of 1 nm," J. Vac. Sci. & Technol.A, Vol 14, No. 3, 1996 pp.1228-1232.
- (5) Kacker, R., Datla, R., and Parr, A., "Combined Result and Associated Uncertainty from Inter-laboratory Evaluations Based on the ISO Guide," Metrologia, Vol 39 No. 3, 2002, pp. 279-293.
- (6) Fu, J., Tsai, V. W., Köning, R., Dixon, R., and Vorburger, T. V., "Algorithms for Calculating Single Atom Step Heights," Nanotechnology, Vol 10, 1999, pp. 428-433.
- (7) Ultra Clean Society Standard, Ultra Clean Society, Cosmos Hongo Bldg., 4-1-4 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113, Japan.
- (8) Abel, P. B., Powell, J. A., Neudeck, P. G., Method for the production of nanometer scale step height reference specimens, US Patent 6869480.
- (9) Powell, J. A., Neudeck, P. G., Trunek, A. J., and Abel, P. B., "Step Structures Produced by Hydrogen Etching of Initially Step-Free (0001) 4H-SiC Mesas," in Materials Science Forum, vol. 483-485, Silicon Carbide and Related Materials 2004, R. Nipoti, A. Poggi, and A. Scorzoni, Eds. Switzerland: Trans Tech Publications, 2005, pp. 753-756.