

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

VERBAND DER
ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK
INFORMATIONSTECHNIK

Bestimmung geometrischer Messgrößen mit
Rastersondenmikroskopen
Kalibrierung von Messsystemen

Determination of geometrical quantities by
using of scanning probe microscopes
Calibration of measurement systems

VDI/VDE 2656

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
Einleitung	3	Introduction	3
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Begriffe	5	2 Terms and definitions	5
3 Formelzeichen	7	3 Symbols	7
4 Eigenschaften von Rastersondenmikroskopen	9	4 Characteristics of scanning probe microscopes	9
4.1 Schematische Darstellung eines Rastersondenmikroskops	9	4.1 Schematic representation of a scanning probe microscope	9
4.2 Messtechnische Kategorien von Rastersondenmikroskopen.	10	4.2 Metrological categories of scanning probe microscopes	10
4.3 Blockmodell eines Rastersondenmikroskops	11	4.3 Block model of a scanning probe microscope	11
4.4 Kalibrierintervalle	12	4.4 Calibration intervals.	12
5 Vorbereitende Charakterisierung des Messsystems	13	5 Preliminary characterization of the measuring system	13
5.1 Zu untersuchenden Geräteeigenschaften und Einflussfaktoren im Überblick	14	5.1 Overview of the device characteristics and influence factors to be investigated.	14
5.2 Wartezeiten nach Eingriffen in das Messsystem	14	5.2 Waiting times after interventions into the measuring system	14
5.3 Externe Einflüsse	17	5.3 External influences	17
5.4 Rauschen des Geräts.	18	5.4 Noise of the device	18
5.5 Qualitative Erfassung von Führungsabweichungen	21	5.5 Qualitative determination of guidance deviations	21
5.6 Resümee	22	5.6 Summary	22
6 Kalibrierung	22	6 Calibration	22
6.1 Kalibrierschritte im Überblick	23	6.1 Overview of calibration steps	23
6.2 Normale	24	6.2 Standards	24
6.3 Führungsabweichungen der x - und y -Achse (xtz , ytz)	26	6.3 Guidance deviations of the x - and y -axes (xtz , ytz)	26

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Fachbereich Fertigungsmesstechnik

Inhalt	Seite
6.4 Kalibrierung der x - und y -Achse (C_x, C_y), der Rechtwinkligkeit (ϕ_{xy}) und Feststellung von Abweichungen (xtx, yty, ywx)	29
6.5 Kalibrierung der z -Achse $C_z, \phi_{xz}, \phi_{yz}$ und Feststellung der Abweichungen ztz, zwx, zwy	41
6.6 3-D-Normale für alternative bzw. weiterführende Kalibrierung	51
7 Ergebnisbericht	57
8 Messunsicherheiten	58
9 Ergebnisprotokoll (Muster/Vorlage)	60
Anhang A Beispiel für die Überlagerung von Störeinflüssen im Topografiebild	62
Anhang B Beispiel einer Untersuchung der lateralen Scanner-Drift (Kategorie C).	63
Anhang C Schalluntersuchungen – Wirkung einer Schallschutzhaube.	65
Anhang D Thermisch isolierende Wirkung einer Schallschutzhaube/Messkabine	67
Anhang E Regelparameter und Scangeschwindig- keit – Umgang mit Verunreinigungen.	69
Anhang F Stufenhöhenbestimmung – Vergleich Histogramm- und ISO-5436-Methode	72
Anhang G Messunsicherheit bei lateralen Messgrößen (Periode, Position, Durchmesser)	74
Schrifttum	80

Contents	Page
6.4 Calibration of x - and y -axis (C_x, C_y), of rectangularity (ϕ_{xy}), and determination of deviations (xtx, yty, ywx).	29
6.5 Calibration of the z -axis $C_z, \phi_{xz}, \phi_{yz}$ and determination of the deviations ztz, zwx, zwy	41
6.6 3D standards for alternative and extended calibration	51
7 Result report	57
8 Measurement uncertainties	58
9 Report of result (form)	61
Annex A Exemplary superposition of disturbing influences in the topography image	62
Annex B Exemplary investigation of the lateral scanner drift (category C).	63
Annex C Sound investigations – Effects of a sound proofing hood	65
Annex D Thermal isolation effect of a sound proofing hood/measuring cabin	67
Annex E Control parameters and scan speed – Handling of contaminations	69
Annex F Step height determination – Comparison between histogram and ISO-5436 method	72
Annex G Measurement uncertainty for lateral measurands (pitch, position, diameter)	74
Bibliography	80

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2656.

Einleitung

Die fortschreitende Miniaturisierung in der Halbleiterstrukturierung macht, ebenso wie der rasante Anstieg beim Einsatz der äußerst vielfältigen Nanotechnologie, in einer Vielzahl von industriellen Verfahren zuverlässige und vergleichbare quantitative dimensionale Messungen im Mikro- und Submikrometerbereich notwendig [1]. Dabei wird schon häufig eine Auflösung im Nanometerbereich und darunter verlangt – Bereiche, in die konventionelle optische oder tastende Messverfahren nicht vorzudringen vermögen.

Deshalb kommen in stark steigender Zahl Rastersondenmikroskope (SPM) [2] als quantitative Messinstrumente zum Einsatz, wobei deren Anwendung längst nicht mehr nur auf Forschung und Entwicklung beschränkt ist, sondern auch zunehmend in der industriellen Fertigung und Inspektion Einzug hält [3].

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, auch für diesen Typ von Messgeräten standardisierte Kalibrierverfahren zu entwickeln [4], wie sie z.B. für Tastschnittgeräte längst etabliert sind (DIN EN ISO 12179). Vielfach werden hierzu speziell entwickelte Normale eingesetzt. Um damit Kalibrierungen von SPM gut und gleichzeitig effizient durchführen zu können, sollten nicht nur die Eigenschaften der verwendeten Normale dokumentiert sein und bei der Kalibrierung berücksichtigt werden, sondern auch die Vorgehensweise beim Kalibrieren klar definiert sein.

Dies ist eine notwendige Voraussetzung, Messungen geometrischer Größen rückführbar durchführen zu können (Bild 1).

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie ist beschränkt auf Rastersondenmikroskope und deren Kalibrierung. Ein Rastersondenmikroskop ist ein seriell arbeitendes Messgerät, das mit einer entsprechend feinen Sonde die Oberfläche des Messobjekts unter Ausnutzung einer lokalen physikalischen Wechselwirkung (wie dem quantenmechanischen Tunneleffekt, zwischenatomaren bzw. -molekularen Kräften, evaneszenten Moden des elektromagnetischen Felds) nachfährt, wobei Sonde und Messobjekt nach einem zuvor festgelegten Schema in einer Ebene (nachfolgend x - y -Ebene genannt) relativ zueinander bewegt werden, während das Signal der Wechselwirkung aufgezeichnet wird und für die Re-

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2656.

Introduction

The progress of miniaturization in semiconductor structuring, just as the fast advance of the extremely versatile nanotechnology applications, in a great number of industrial processes calls for reliable and comparable quantitative dimensional measurements in the micro- and submicrometre range [1]. By now resolutions in or even below the nanometre region are already frequently required, i.e. resolutions conventional optical or scanning-type measurement methods are not able to offer.

This is why scanning probe microscopes (SPM) [2] are increasingly employed as quantitative measuring instruments, their use being no longer confined only to research and development but increasingly extended also to industrial production and inspection [3].

For this category of measuring instruments, too, standardized calibration procedures therefore need to be developed as have [4], for example, been established already long ago for contact stylus instruments (DIN EN ISO 12179). In many cases, specifically developed measurement standards are used here. For calibrations of SPMs to be carried out not only reliably but also efficiently, the properties of the standards used should have been documented and be accounted for in the calibration and, at the same time, the procedure for the calibration should be clearly defined.

Only if this prerequisite is provided will it be possible to perform traceable measurements of geometrical quantities (Figure 1).

1 Scope

This standard is restricted to scanning probe microscopes and their calibration. A scanning probe microscope is a serially operating measuring device which uses a probe of adequate fineness to trace the surface of the object to be measured exploiting a local physical interaction (such as the quantum-mechanical tunnel effect, interatomic or intermolecular forces, evanescent modes of the electromagnetic field) with the probe and the object to be measured being displaced in relation to one another in a plane (hereinafter referred to as the x - y -plane) according to a defined pattern, while the signal of the interaction is recorded and can be used to control the distance between probe

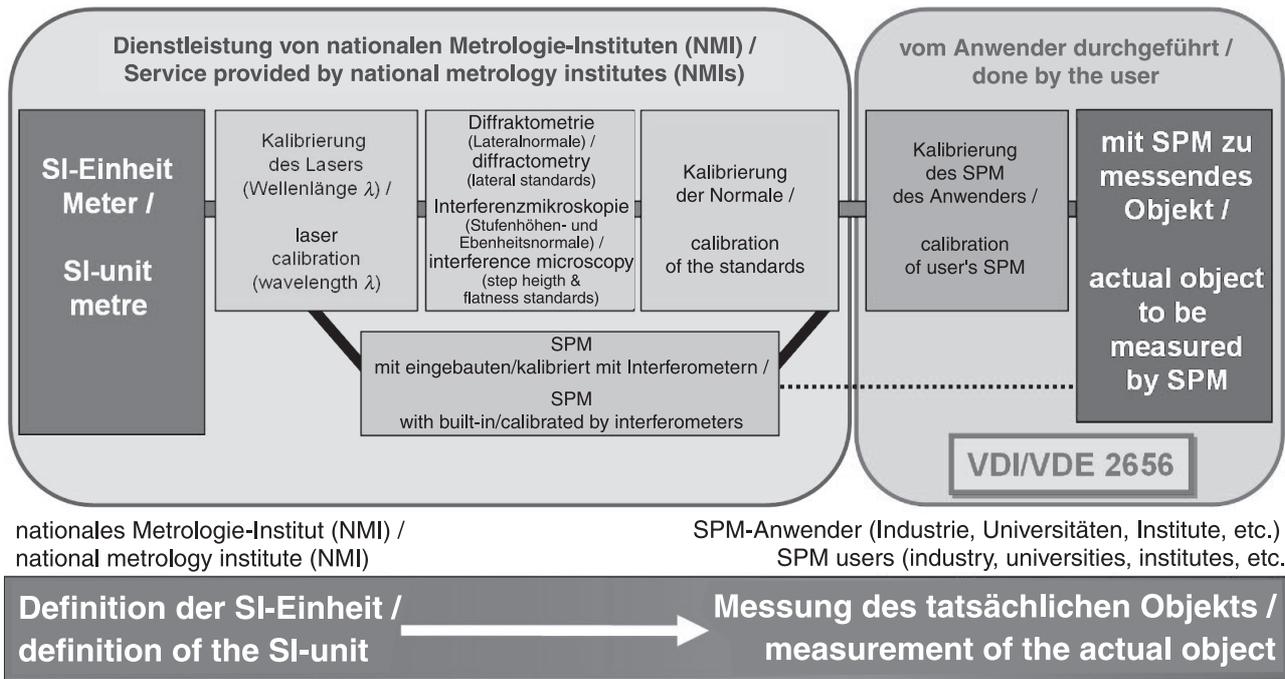


Bild 1. Rückführungskette für Rastersondenmikroskope
Die Kalibrierung beim Anwender mittels rückführbar kalibrierter Normale ist Gegenstand dieser Richtlinie (vom Anwender durchgeführt).

Figure 1. Traceability chain for scanning probe microscopes
The calibration at the user's against traceably calibrated standards is the object of this standard (carried out by the user).

gelung des Abstands zwischen Sonde und Messobjekt verwendet werden kann. In dieser Richtlinie werden solche Signale betrachtet, die zur Topografiebestimmung genutzt werden (nachfolgend „z-Signal“ genannt).

and object to be measured. In this standard, signals are considered which are used for the determination of the topography (hereinafter called “z-signal”).

Die Richtlinie umfasst die Verifizierung der für die Messung geometrischer Maße notwendigen Geräteeigenschaften und die Kalibrierung der Bewegungsachsen (x, y, z), das heißt, die Rückführung auf die Längeneinheit über die Messung an rückgeführten Lateral- und Stufenhöhennormalen (Bild 2).

The standard covers the verification of the device characteristics necessary for the measurement of geometrical measurands, and the calibration of the axes of motion (x, y, z), i.e. the traceability to the unit of length via measurement on traceable lateral and step height standards (Figure 2).

Mit der Anwendung dieser Richtlinie werden folgende Ziele verfolgt:

With the implementation of this standard the following objectives are pursued:

- bessere Vergleichbarkeit von Messungen geometrischer Größen mit Rastersondenmikroskopen durch die Rückführung auf die Längeneinheit
- Festlegung von Mindestanforderungen an den Kalibriervorgang und an die Abnahmebedingungen
- Feststellung der Kalibrierfähigkeit (Einteilung in Kategorien für Kalibrierfähigkeit)
- Festlegung des Gültigkeitsbereichs einer Kalibrierung (Messbedingungen und Umgebungen, Messbereiche, zeitliche Stabilität, Übertragbarkeit)
- Bereitstellung eines GUM-konformen Modells zur Messunsicherheitsberechnung für einfache Geometrie Größen bei Messung mit einem Rastersondenmikroskop (siehe Abschnitt 8)
- Festlegung der Anforderungen an ein Ergebnisprotokoll

- increase in the comparability of measurements of geometrical quantities using scanning probe microscopes by traceability to the unit of length
- definition of minimum requirements for the calibration process and the conditions of acceptance
- ascertainment of the calibratability (assignment to calibratability categories)
- fixing of the scope of a calibration (conditions of measurement and environments, ranges of measurement, temporal stability, transferability)
- provision of a model according to GUM to calculate the uncertainty for simple geometrical quantities in measurements using a scanning probe microscope (see Section 8)
- definition of the requirements for a result report