

3D POSITIONING SYSTEM IN THE RANGE OF NANOMETERS

Collaborative Research Center 622 “Nano-Positioning and Nano-Measuring Machines”

The rapid pace of development of the future technologies, like for example nanotechnology, optical high technology or micro-systems technology, makes great demands on positioning systems used for inspection and analysis. Larger objects with dimensions of hundreds of millimetres have to be positioned and measured by requiring precisions in the range of nanometers.

Within the collaborative research center 622 „Nano-Positioning and Nano-Measuring Machines” of the Ilmenau University of Technology, scientists have worked for years successfully on providing the scientific basis for the necessary nanotechnological equipment.

Appraisers of the German Research Foundation DFG evaluated the collaborative research center in 2009 as a “light house with unrivaled precision” and agreed to a continuation of the sponsorship by the DFG for the next four years.

IMMS had collaborated, in the part project A5, considerably regarding these outstanding results. In doing so, it is the aim of the operation of IMMS, to research the basics of designing nanopositioning systems for large travel ranges of hundreds of millimeters. The particular challenge here is to configure the drive system in a way that position stability within the nanometer range as well as an exact nanometric movement of the positioning table is realizable despite the large dimensions and masses, which come along with the requirement of large operating areas.

At this point, conventional systems with roller guides and serial arranged linear axes reach their limits. Long kinematic chains, mechanical resonances and last but not least, frictional forces within the guiding elements rank among the critical parameters and limit the reachable precision.

Planar Air-guided Direct Drive System

A planar aerostatically guided direct drive system, offers completely new options compared to conventional systems and offers the best preconditions for a nanometric precise line movement with minimal friction.

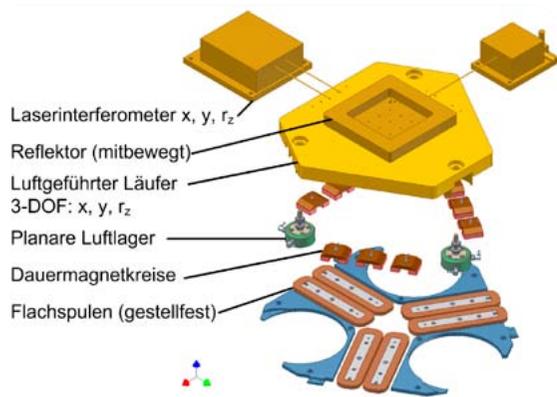


Figure 1: Principle of the planar drive system

Figure 1 shows schematically the configuration of an integrated planar direct drive system. The slider is braced almost frictionless by the air bearings and can move in x, y and r_z . The drive force is generated as Lorentz force between the frame-fixed flat coils and the permanent magnet circuits that are moun-

ted to the slider's underside. During regulated operation, the z -rotation of the slider r_z is locked by field forces. The x -, y -position of the slider as well as the rotation r_z are measured by high-resolution plane mirror interferometers. The system realized within the scope of the research works at the IMMS has the following performances:

- Traversing range 100 mm
- Acceleration max. 500 mm/s²
- Resolution of measuring x, y 0.1 nm
- Speed max. 30 mm/s
- Resolution of measuring r_z 0.001 arcsec
- Moved mass 9.6 kg

Realized in this form – the simple kinematic structure with a direct driven slider as the only moving part – offers a combination of high dynamics and highest precision.

Minimization of Disturbances

Regarding absolute precision up to the nanometer range, the importance of both external and internal disturbances and their elimination respectively minimization contributes significantly to the achievable precision. Friction forces have an especially strong influence on the quality of the positioning. By means of a planar air guide of the slider, these forces drop almost completely in the hereby presented system, which makes a decisive difference compared with roller guides applied in many cases to conventional drive systems. For systems afflicted with friction, especially in case of a shift in direction of the axis movement, the friction forces and above all the stick-slip-effect lead to considerable track errors. Mostly they are by a manifold larger than the track errors when moving continuously. Concerning this matter, air-guided systems offer decisive advantages.

Figure 2 shows the air-guided planar drive system as assembled at IMMS.

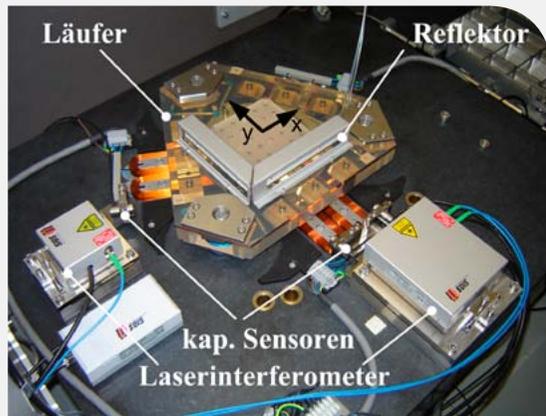


Figure 2: Planar nano-positioning system

Positioning in the Range of Nanometers

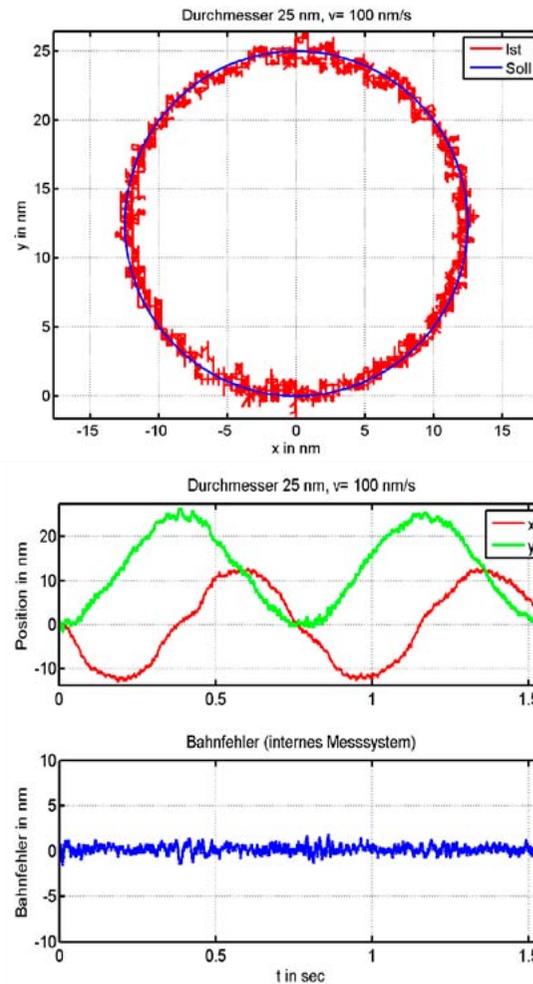


Figure 3: Circular driving with planar drive system (circle \varnothing 25 nm, $v = 100$ nm/s)

Figure 3 shows a 25 nanometers circular driving of this system. The depiction of the positioning signals and the track errors clarify the efficiency of the system and above all the smooth passing through of the reversal points of the axis movement. During the complete movement, the deviation from the reference track rests smaller than 1.8 nanometers. At the same time the current system offers a traversing range of \varnothing 100 mm. A larger system is being assembled at the moment.

The research works of SFB 622 and especially of IMMS, are aimed at "reaching the limits of the technically feasible". Even if other technical solutions in the field of semiconductor technology already work with ca. 1 m/s and track errors of 4 nm – or even more precisely – the achieved solutions can be referred to a large and important step in development.

Particularly, when it comes to the combination of a high positioning resolution and large planar operating ranges (several 100 mm in x and y), the results of IMMS rank among the internationally leading ones.



Know-how for New Products

For IMMS, the basic research and the results in this field form the basis for numerous innovations and further developments. The hereby attained know-how, transferred to absolutely new assignments of tasks and applications of our industrial partners, will be the corner stone for the development of novel positioning systems with nanometer precision and so the initial point for new innovative products and methods.

Contact:

Dipl.-Ing. Steffen Hesse

steffen.hesse@imms.de



3D POSITIONIER- SYSTEM FÜR DEN NANO- METERBEREICH

Sonderforschungsbereich 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“

Das rasante Entwicklungstempo in den Zukunftstechnologien, wie beispielsweise der Nanotechnologie, den optischen Hochtechnologien oder der Mikrosystemtechnik stellt immer höhere Anforderungen an die zur Inspektion und Analyse eingesetzten Positioniersysteme. Immer größere Objekte mit Ausdehnungen von hunderten Millimetern müssen hierzu mit Präzisionsanforderungen im Nanometerbereich positioniert und vermessen werden.

Im Sonderforschungsbereich 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ der Technischen Universität Ilmenau arbeiten Wissenschaftler seit Jahren sehr erfolgreich daran, die wissenschaftliche Basis für die benötigte nanotechnologische Ausrüstungen zu schaffen. Als einen „Leuchtturm mit unerreichter Präzision“ schätzten die Gutachter der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG den Sonderforschungsbereich im Jahr 2009 ein und stimmten einer Fortsetzung der Förderung für die nächsten vier Jahre zu.

Das IMMS arbeitet im Teilprojekt A5 wesentlich an diesen herausragenden Ergebnissen mit. Dabei ist es das Ziel der Arbeiten des IMMS, die Grundlagen zur Gestaltung von Nanopositioniersystemen für große Verfahrbereiche von mehreren 100 mm zu erforschen. Die besondere Herausforderung hierbei liegt darin, das Antriebssystem so zu gestalten, dass trotz der großen Dimensionen und Massen, die die Forderung nach großen Verfahrbereichen mit sich bringt, eine Positionsstabilität im Nanometerbereich sowie eine nanometergenaue Bewegung des Positionierten realisierbar ist.

An dieser Stelle stoßen konventionelle Systeme mit Wälzkörperführungen und seriell angeordneten Linearachsen an ihre Grenzen. Lange kinematische Ketten, mechanische Resonanzen und nicht zuletzt die Reibkräfte in den Führungselementen zählen zu den kritischen Faktoren und begrenzen die erreichbare Genauigkeit.

Planares luftgeführtes Direktantriebssystem

Ein planares Direktantriebssystem mit aerostatischer Führung bietet gegenüber konventionellen Systemen völlig neue Möglichkeiten und beste Voraussetzungen für eine Nanometerpräzise Bahnbewegung mit minimaler Reibung.

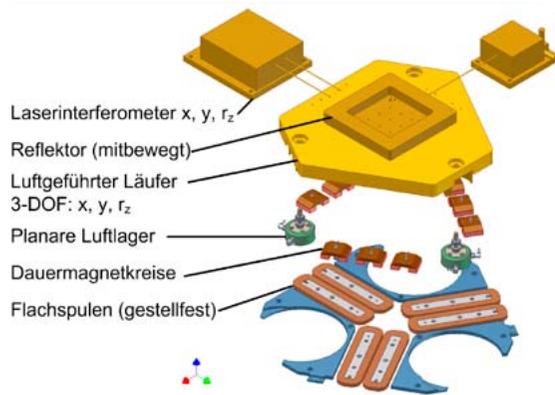


Abbildung 1: Prinzip des planaren Antriebssystems

Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau eines integrierten planaren Direktantriebssystems. Der Läufer wird über Luftlager praktisch reibungsfrei abgestützt und kann sich in x , y und r_z bewegen. Die Antriebskraft entsteht als Lorentzkraft zwischen den gestellfesten Flachspulen und den mitbewegten Dauermagnetkreisen an der Läuferunterseite. Im geregelten Betrieb wird die z -Rotation des Läufers r_z durch Feldkräfte gesperrt. Die x , y -Position des Läufers, wie auch die Rotation r_z , werden durch hochauflösende Planspiegelinterferometer erfasst. Das im Rahmen der Forschungsarbeiten am IMMS realisierte System besitzt folgende Eigenschaften:

- Verfahrbereich 100 mm
- Beschleunigung max. 500 mm/s²
- Messauflösung x, y 0,1 nm
- Geschwindigkeit max. 30 mm/s
- Messauflösung r_z 0,001 arcsec
- bewegte Masse 9.6 kg

In dieser Form realisiert, ermöglicht die einfache kinematische Struktur mit dem direkt angetriebenen Läufer als einzigem bewegten Teil eine Kombination von hoher Dynamik und höchster Präzision.

Minimierung der Störungen

Geht es um höchste Genauigkeiten bis in den Nanometerbereich, wächst die Bedeutung externer, wie auch interner Störungen, und deren Eliminierung bzw. Reduzierung trägt maßgeblich zu der erreichbaren Genauigkeit bei. Besonders starken Einfluss auf die Qualität der Positionierung haben die Reibkräfte. Durch die planare Luftführung des Läufers entfallen diese bei dem hier vorgestellten System fast vollkommen, was gegenüber den in konventionellen Antriebssystemen vielfach eingesetzten Wälzführungen einen entscheidenden Unterschied ausmacht. Bei reibungsbehafteten Systemen führen insbesondere bei einem Richtungswechsel der Achsenbewegung die Reibungskräfte und vor allem der Stick-Slip-Effekt zu erheblichen Bahnfehlern. Diese sind meist um ein Vielfaches größer, als die Bahnfehler der kontinuierlichen Bewegung. Luftgeführte Systeme bieten hier entscheidende Vorteile.

Abbildung 2 zeigt das am IMMS aufgebaute luftgeführte Planarantriebssystem.

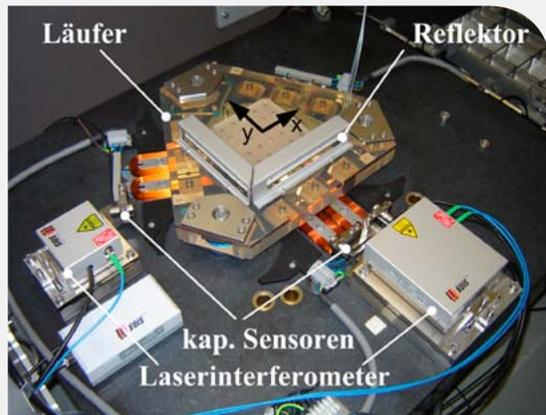


Abbildung 2: Planares Nanopositioniersystem

Positionierung im Nanometerbereich

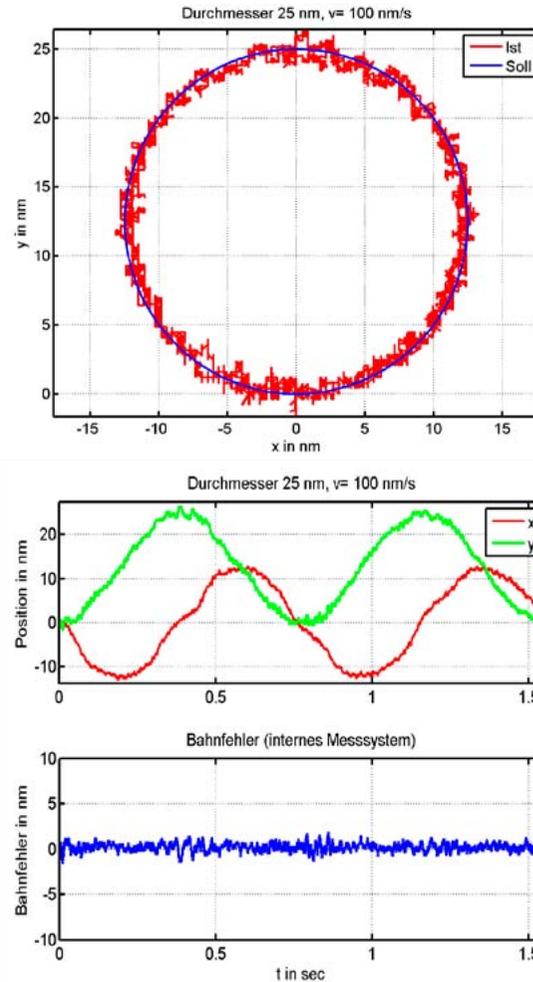


Abbildung 3: Kreisfahrt mit Planarantriebssystem
(Kreis $\varnothing 25 \text{ nm}$, $v = 100 \text{ nm/s}$)

Abbildung 3 zeigt eine 25-Nanometer-Kreisfahrt dieses Systems. Die Darstellung der Positionssignale und des Bahnfehlers verdeutlicht die Leistungsfähigkeit des Systems und vor allem das problemlose Durchfahren der Umkehrpunkte der Achsbewegung. Während der gesamten Bewegung bleibt die Abweichung von der Sollbahn kleiner als 1,8 Nanometer. Das aktuelle System besitzt dabei einen Verfahrbereich von $\varnothing 100 \text{ mm}$. Ein noch größeres System befindet sich derzeit im Aufbau.

Die Arbeiten des SFB 622 und speziell des IMMS zielen darauf ab, an die Grenzen des technisch Machbaren vorzustoßen. Auch wenn andere technische Lösungen in der Halbleitertechnik schon mit ca. 1 m/s bei Bahnfehlern von 4 nm – oder noch genauer – arbeiten, so kann doch das Erreichte als ein großer und wichtiger Entwicklungssprung bezeichnet werden. Vor allem wenn es um die Kombination von sehr hoher Positionsaufösung und großen planaren Fahrbereichen (einige 100 mm in x und y) geht, liegen die Ergebnisse des IMMS im internationalen Spitzenfeld.



Know-how für neue Produkte

Für das IMMS stellen die Grundlagenforschung und die Ergebnisse auf diesem Gebiet die Basis für zahlreiche Innovationen und Weiterentwicklungen dar. Das hier gewonnene Know-how wird, übertragen auf völlig neue Aufgabenstellungen und Anwendungen unserer Industriepartner, zum Grundstein für die Entwicklung neuartiger Positioniersysteme mit Nanometer-Präzision und damit zum Ausgangspunkt für neue innovative Produkte und Verfahren.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Steffen Hesse

steffen.hesse@imms.de

