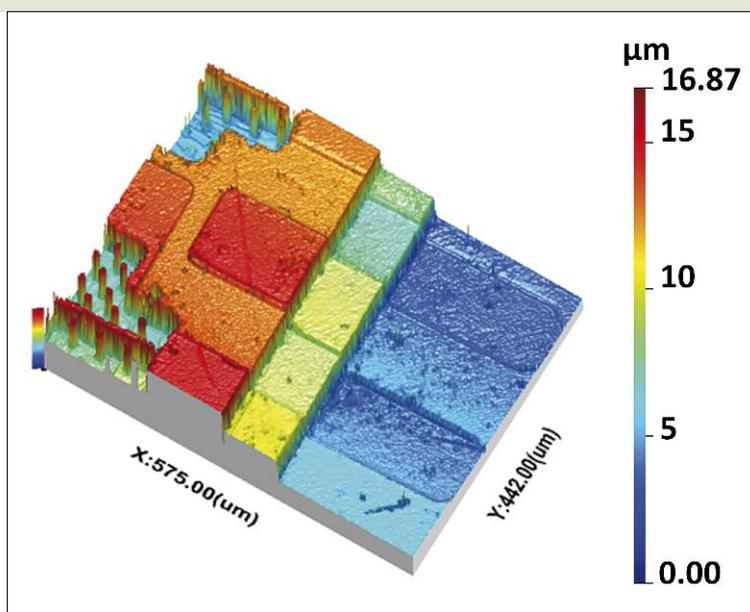


Robuste Oberflächenmessung mit Interferometrie

Mit einem Wellenlängen scannenden Interferometer lassen sich stufenförmige und freigeformte Oberflächen mit Mikro- und Nanostrukturen schnell und hochpräzise messen. Mithilfe einer **SCHWINGUNGSKOMPENSATION** wird das System klein, flexibel und robust für die Online-Anbindung.

Bild 1. Vermessung eines Mehrstufen-ICs



Eindhoven ein Gerät entwickelt, das diskontinuierliche Strukturen mit Nanometer-Auflösung großflächig messen kann. Es ist schnell und verfügt über eine integrierte Schwingungskompensation, sodass Inline-Messungen möglich sind.

Das Interferometer ist in der Lage, diskrete Stufenhöhen und die Oberflächengüte mit einer vertikalen Auflösung von weniger als 2 nm zu messen. Eine Megapixel-Kamera erfasst einen Oberflächenscan in weniger als 1 s. Mit einem 2-fach-Objektiv bietet das System eine vertikale Reichweite von 96 µm, eine laterale Auflösung von

5 µm und ein Sichtfeld (FOV) von 8 mm². Es kann für die Inline-Fehlererkennung und -charakterisierung, optische Oberflächen- und Strukturmessungen, 3D-Vermessungen der Oberflächentopologie, MEMS-/NEMS-Inspektionen und mehr verwendet werden. Die Vermessung eines Mehrstufen-ICs ist in **Bild 1** dargestellt.

THERESA SPAAN-BURKE

Die topografische Vermessung von Oberflächenmerkmalen im Mikro- und Nanometermaßstab, einschließlich Stufen und Freiformen, ist eine wichtige Herausforderung in vielen Produktions- und Forschungsbereichen. Solche Merkmale können beabsichtigt sein, wie bei strukturierten Oberflächen für eine bestimmte Funktion, oder unbeabsichtigt, wie bei Oberflächenbeschädigungen oder bei unerwünschten Partikeln.

Mit dem Flächeninterferometer ›Arinna‹ hat IBS Precision Engineering aus dem niederländischen

Prinzip des Wellenlängen scannenden Interferometers

Das von Arinna eingesetzte Messverfahren wurde ursprünglich an der University of Huddersfield, Großbritannien, entwickelt und basiert auf dem Prinzip der Wellenlängen scannenden Interferometrie (WSI). Diese beinhaltet die Erfassung eines Satzes von Interferogrammen über einen Satz von Wellenlängen, die auf die Probe oder das Produkt einfallen. Mithilfe der Phasenverschiebungen, die zwischen den Interferogrammen erzeugt werden, kann eine Höhenkarte der Oberflächen hergestellt werden.

Der Wellenlängenscan wird in dem System von einer Weißlichtquelle unter Verwendung eines abstimmbaren akusto-optischen Filters (AOTF)

> KONTAKT

HERSTELLER
IBS Precision Engineering BV
 NL-5633AD Eindhoven
 Tel. +31 40 2901270
 info@ibspe.com
 www.ibspe.com

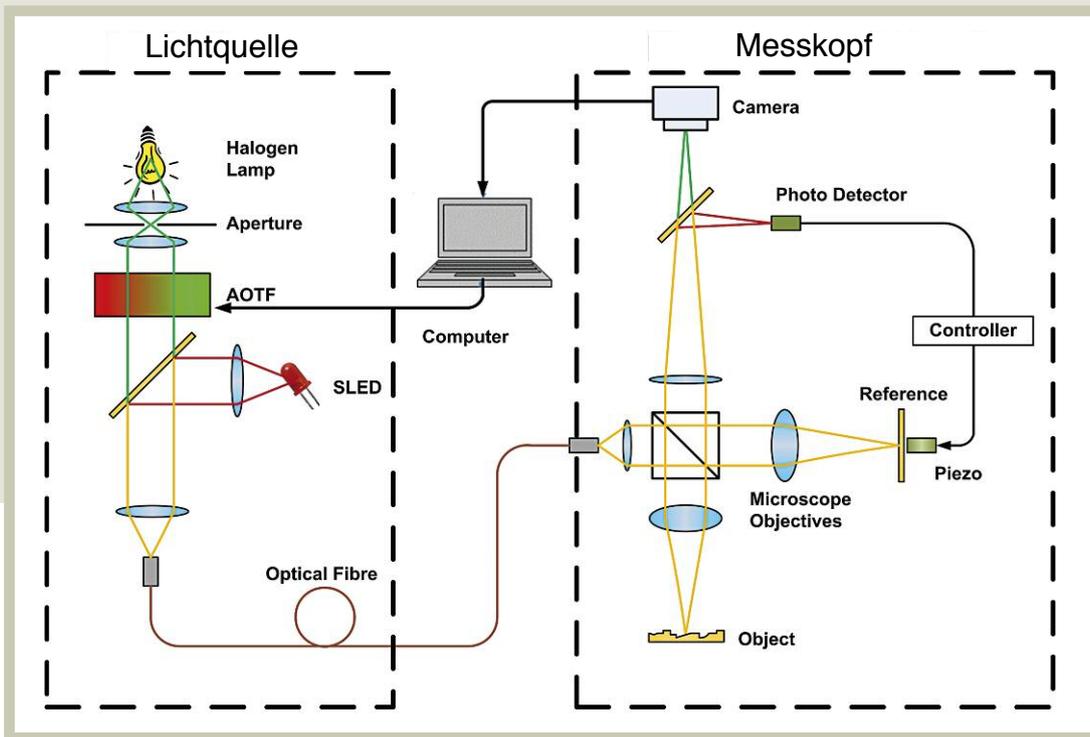


Bild 2. Schematischer Aufbau des WSI-Setups

erreicht. Diese Lichtquelle ist mit einem Linnik-Interferometer zu einem System kombiniert, das große, diskontinuierliche Schritte ohne 2π -Ambiguität und mit Nanometerauflösung absolut messen kann (Bild 2).

Beim Scannen wird ein Satz von Interferogrammen mit einer 1000×1000 -Pixel-Kamera erfasst; jedes Pixel in dem erhaltenen Interferogramm stellt einen bestimmten Punkt auf der Probenoberfläche dar. Innerhalb eines einzelnen Pixels wird eine sinusförmige Intensitätsänderung abhängig von der Wellenlänge (Rahmennummer) beobachtet (Bild 3).

Die durch den Wellenlängendurchlauf eingeführte gesamte Phasenverschiebung kann aus dem Intensitätssignal unter Verwendung einer Fourier-Transformation entnommen werden. Die Höhe des Punkts auf der Oberfläche, der durch das Pixel dargestellt wird, wird dann berechnet.

Die eingesetzte Wellenlängen-Scantechnik vermeidet die Notwendigkeit des mechanischen Scannens im Messkopf, das von einigen interferometrischen Systemen eingesetzt wird. Dies überwindet damit verbundene Einschränkungen sowohl bezüg-

lich der Messgeschwindigkeit als auch der Systemintegration (wie die Fähigkeit zur 360-Grad-Ausrichtung des Messkopfs).

Schwingungskompensation ohne Dämpfungssysteme

Bei vielen Anwendungen kann die Fähigkeit zur Inline-Messung den Nutzen des Messsystems erheblich erhöhen. Wo Oberflächenmerkmale erforderlich sind, um bestimmte Ziele zu erreichen, werden Ergebnisse durch die Prozesskontrolle verbessert, oder die Prozessoptimierung wird beschleunigt.

Für den Inline-Einsatz wurde eine patentierte Schwingungskompensationstechnik in das Design des Interferometers integriert. Dadurch erübrigen sich große und/oder komplexe Isoliersysteme. Denn diese stellen manchmal einen einschränkenden Faktor bei der Anwendung von hochpräzisen optischen Messsystemen vor Ort dar.

Arinna besteht aus zwei Interferometern, die einen gemeinsamen optischen Weg teilen (Bild 2). Wobei das erste Interferometer zum Messen der

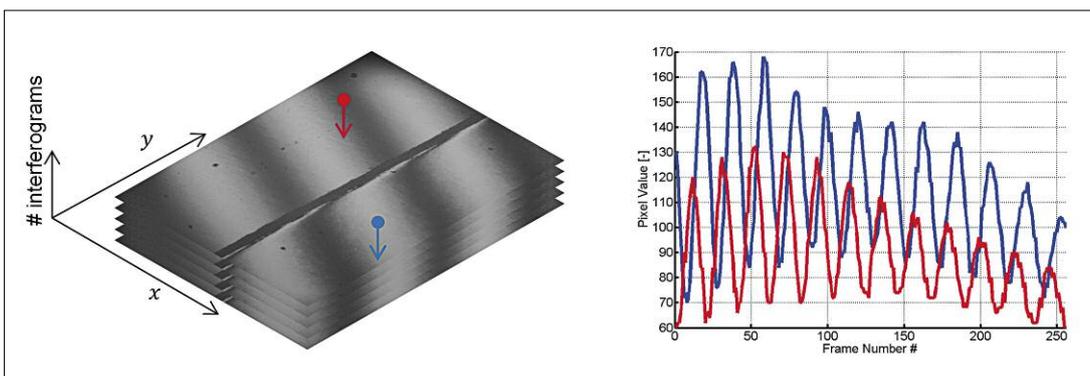


Bild 3. Messung der Stufenhöhe mit Darstellung eines 3D-Bildbereichs (links) und Signal von zwei Pixeln über die gescannte Wellenlänge (rechts)

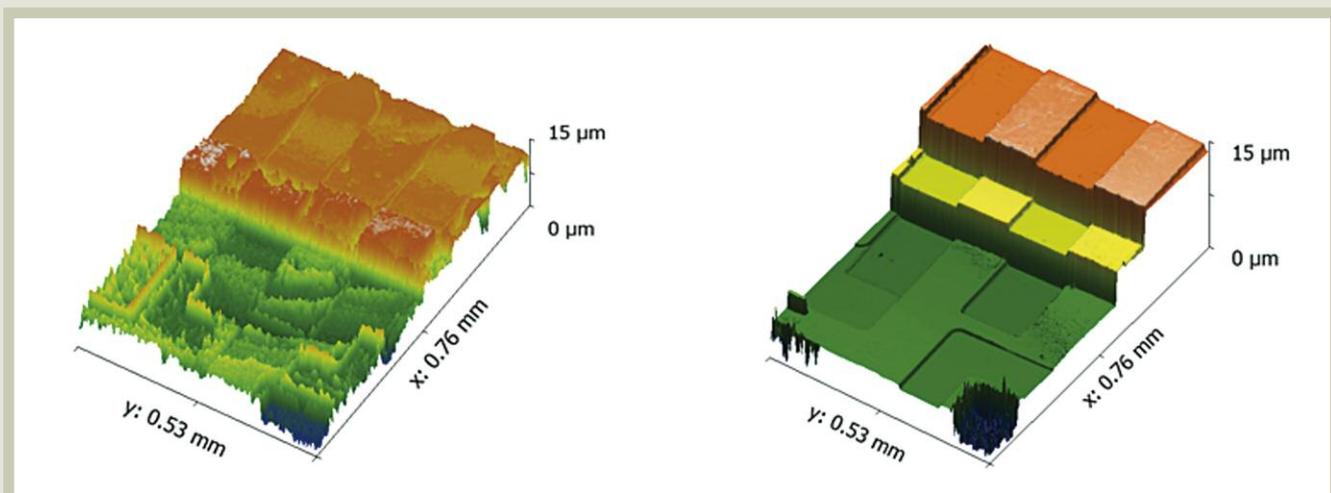


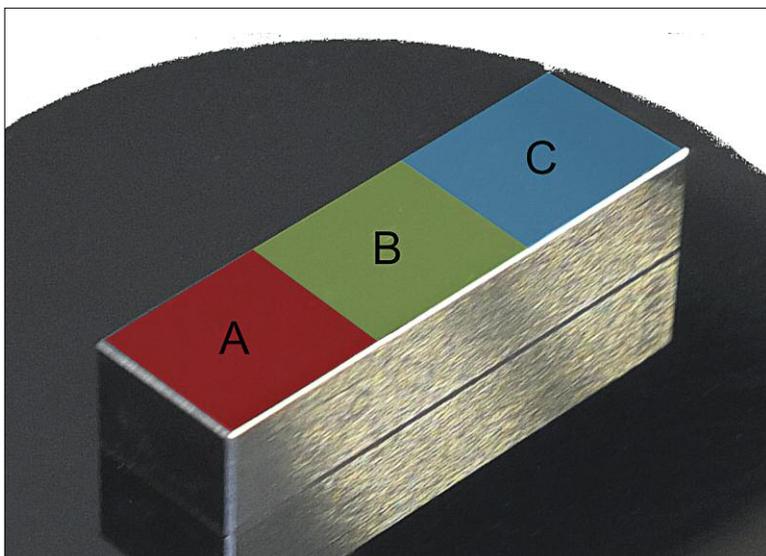
Bild 4. Oberflächenscan auf stufenförmiger Oberfläche mit (links) und ohne (rechts) Schwingungskompensation

Oberflächentopografie verwendet wird; das zweite, ein von einer Superlumineszenzdiode (SLED) versorgtes Interferometer, dient zur Beobachtung der schwingungsbedingten Bewegung der Probenoberfläche. Von der gemessenen Schwingung wird eine aktive Servosteuerung zur automatischen Kompensation von Objektschwingungen eingesetzt. In **Bild 4** wird eine Datenerfassung mit und ohne Schwingungskompensation dargestellt, in der die wesentliche Verbesserung der gewonnenen Oberflächenmessdaten hervorgehoben wird, die nach einer solchen Entrauschung erreicht wird.

Bild 5. Layout des Stufenendmaßes mit definierter Stufenhöhe von A zu B und C

Design mit geringem Platzbedarf

Sowohl die eingesetzte Wellenlängen-Scantechnik als auch die Schwingungsisolationstechnik ermöglichen ein Design mit extrem geringem Platzbedarf. Durch Wechseln der Mikroskopobjektive hat der



Spezifikation	Wert	Einheit
Vertikale Reichweite (objektivabhängig)	96 (2x-Objektiv)	µm
	14 (5x-Objektiv)	
Vertikale Auflösung	< 2	nm
Vertikale Genauigkeit	~15	nm
Laterale Reichweite (objektivabhängig)	2,8 x 2,8 (2x-Objektiv)	mm
	1,1 x 1,1 (5x-Objektiv)	
Laterale Stichproben	1000 x 1000	Pixel
Laterale Reichweite (objektivabhängig)	5 (2x-Objektiv)	µm
	5 (2x-Objektiv)	
Gemessene Zeit	< 1	s
Autofocus-Zeit	< 1	s

Tabelle 1. Spezifikationen von Arinna

Benutzer die Möglichkeit, den Vergrößerungsfaktor des Systems zu ändern. Spezifikationen mit 2-fach- und 5-fach-Objektiv sind in **Tabelle 1** angegeben; jedoch kann eine Reihe von Objektiven bis 50-fach oder sogar 100-fach verwendet werden.

Da die abgeleitete Höhenmessung auf der Phasenverschiebung basiert, die während des Wellenlängendurchlaufs an der Oberfläche beobachtet wird, ändert sich die Höhenauflösung mit der Vergrößerung nicht. Andere objektivspezifische Parameter wie vertikale Reichweite (Tiefenschärfe) und laterale Reichweite (Sichtfeld) variieren.

Systemgenauigkeit des Interferometers ist rückführbar

Da es sich bei dem Flächeninterferometer um ein Messinstrument handelt, ist es wichtig, dass seine Genauigkeit auf rückführbare Weise qualifiziert wird. Um dies festzustellen, wurden Daten von Messungen verglichen, die sowohl von Arinna als auch von einem Koordinatenmessgerät mit nachgewiesener rückführbarer Unsicherheit von 11 nm an einem Artefakt vorgenommen worden sind. Hier wurde ein Stufenendmaß als Artefakt verwendet. Dieses Instrument hat drei Oberflächen mit einer definierten Stufenhöhe von Oberfläche zu Oberfläche (**Bild 5**). **Bild 6** zeigt links eine Standardmessanordnung, in der der

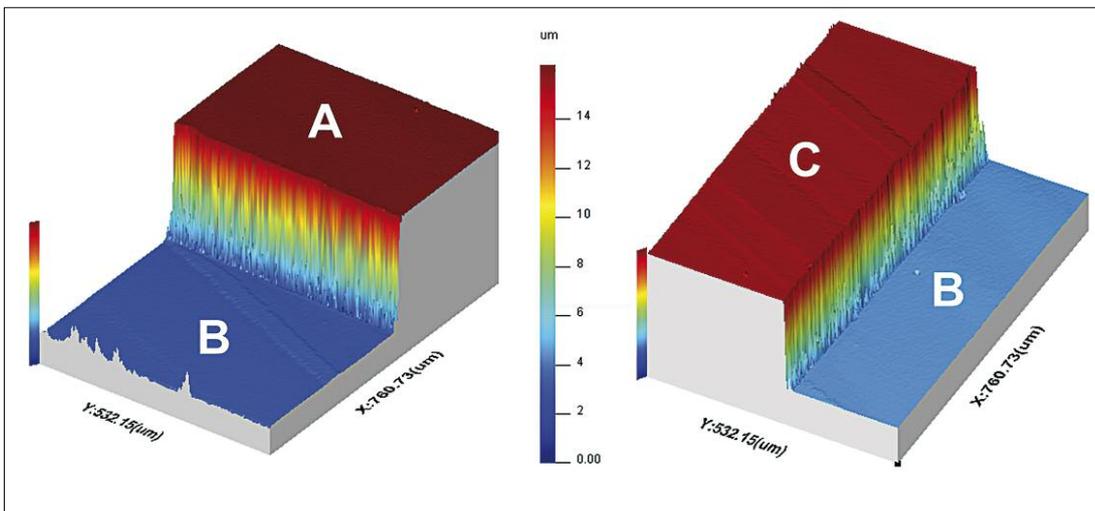
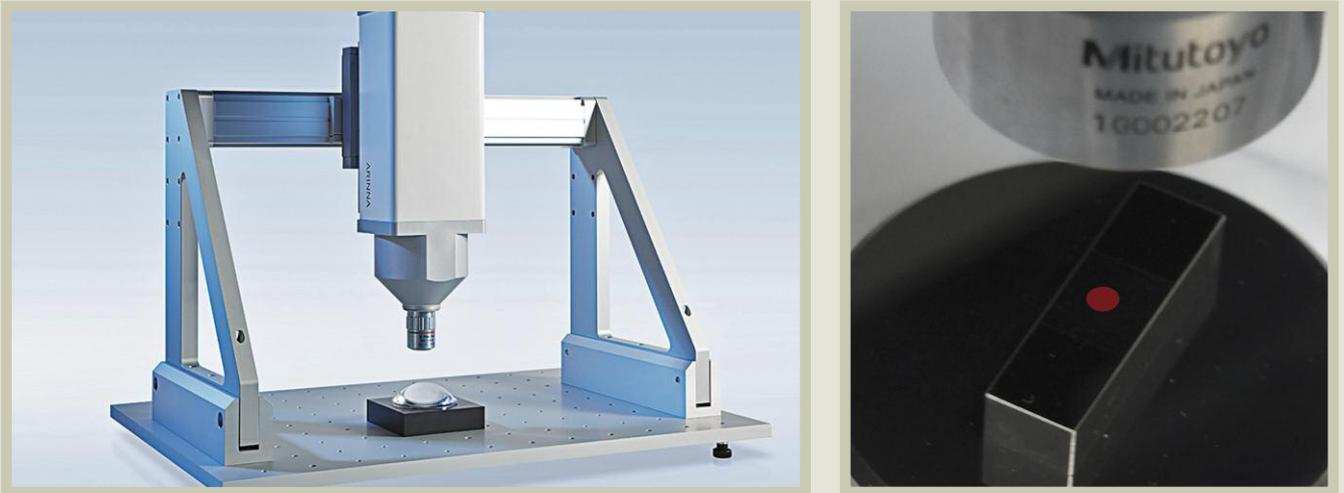


Bild 7. Arinna-Messergebnisse zu den Stufenhöhen des Stufenendmaßes mit Stufe AB (links) und BC (rechts)

Arinna-Messkopf auf einem horizontalen Verschiebetisch montiert ist, um über die Probe zu gelangen (in diesem Beispiel eine konvexe Linse). **Bild 6** zeigt rechts eine Nahaufnahme der Stufenendmaßmessung. Eine Z-Achse wird für die Autofokussierung in Bezug auf das Objekt verwendet.

Die Messung der Stufenendmaß-Stufenhöhen AB und BC wurde mit 5-facher Vergrößerung durchgeführt. Die gemessenen Daten der Stufenhöhen sind in **Bild 7** zu sehen.

Die Stufenhöhe wird durch Messen des Abstands zwischen den mittleren Höhen jeder Fläche berechnet. Daraus ergibt sich eine Stufenhöhe von 12,649 µm für Stufe AB und von 12,479 µm für Stufe BC. Nach Beendigung der Messung wurde das Artefakt zu einem Isara 400-KMG gebracht, und die Stufenhöhendaten wurden erneut erfasst.

Beurteilung der WSI-Messtechnik

Das Isara 400-Koordinatenmessgerät wurde als Referenzmesssystem zur Beurteilung der WSI-

Messtechnik von Arinna verwendet (**Bild 8**). Um die Genauigkeit des Isara 400 zu verifizieren, ist davor ein Zerodur-Flachspiegel-Referenzartefakt mit Ø150 mm gemessen worden. Die Ebenheit des Spiegels wurde mit Fizeau-Interferometrie an Deutschlands nationalem Metrologieinstitut, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), gemessen. Das Ergebnis dieser Ebenheitsmessung kann direkt auf internationale Standards rückführbar verfolgt werden. Bei der gemessenen PTB-Probe wurde festgestellt, dass 95,5 Prozent der Datenpunkte bis auf weniger als 11 nm mit der PTB-Kalibrierung übereinstimmen.

Zur Vermessung der Stufenendmaße wurde erst ein CAD-Modell in die KMG-Software importiert und fünf Punkte auf dem Teil manuell zur Ausrichtung sondiert. Die Messung wurde dann durchgeführt, wobei jede der drei Oberflächen an 950 Punkten abgetastet wurde.

Die Stufenhöhen werden durch Nivellierung aller Flächen an die Oberfläche B und den Vergleich der mittleren Höhen berechnet. Dies ergibt eine Stufen-

Bild 6. »Arinna«, auf einem Messaufbau montiert (links). Die Messanordnung des Stufenendmaßes zeigt das Mikroskopobjektiv und den Messpunkt (rechts)

Bild 8. Der Messaufbau für das Stufenmaß zeigt das Referenz-KMG »Isara 400« (links) und den »Triskelion«-Messtaster (rechts)

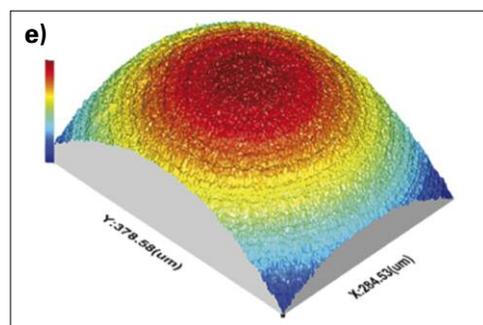
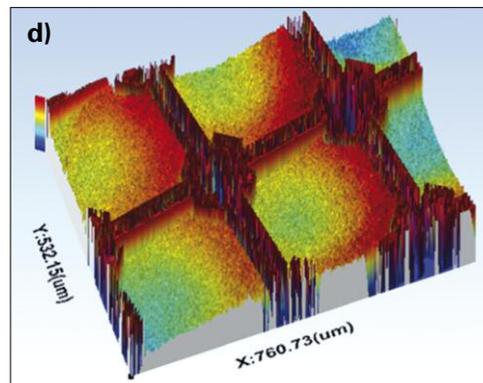
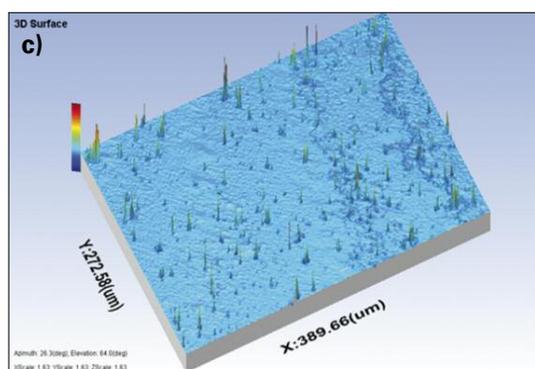
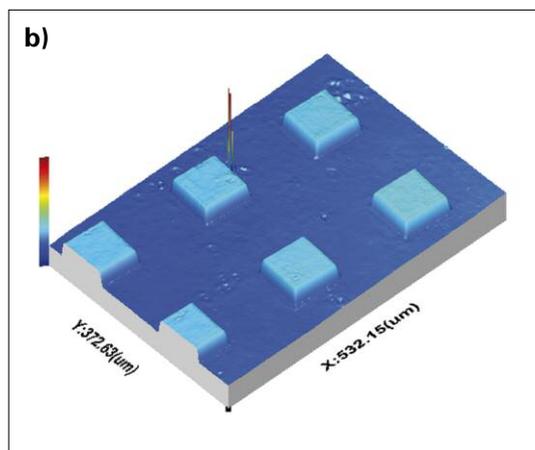
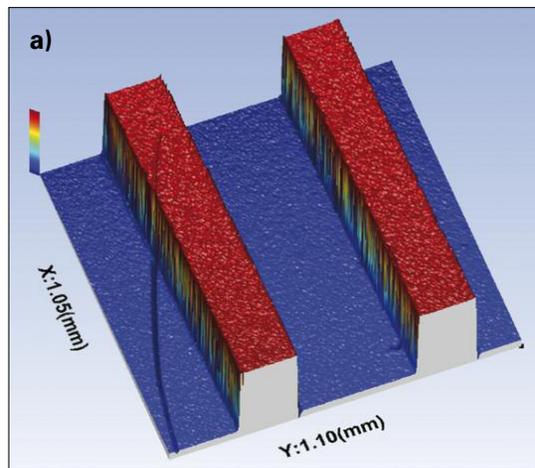
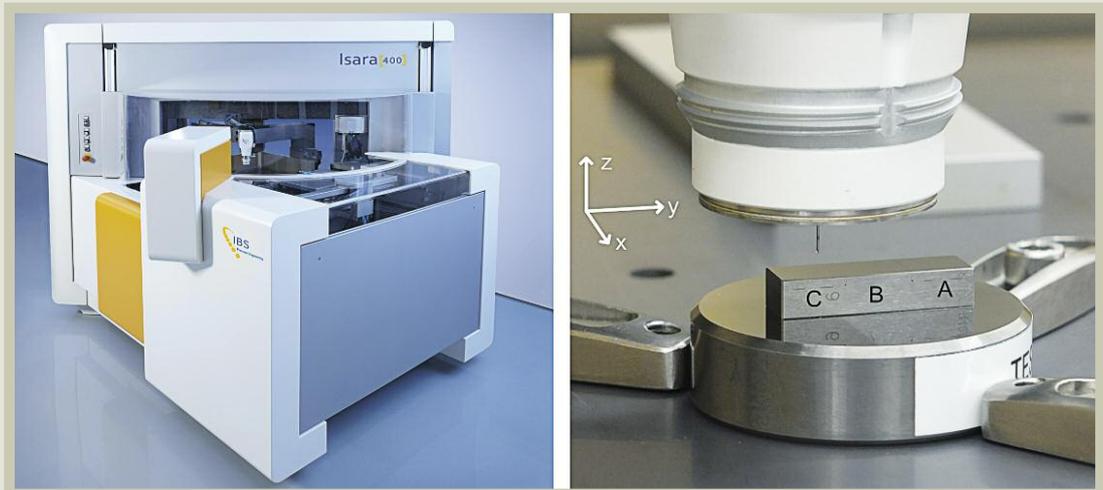


Bild 9. Arinna-Messergebnisse:

- a) 5-µm-Säulen auf integriertem Schaltkreis
- b) strukturierte Oberfläche mit um 100 nm erhöhten Plattformen
- c) Schmutzpartikel auf PET-Folien (Z-Bereich 20 µm)
- d) MEMS-Spiegelarray (Z-Bereich 230 nm)
- e) Fresnel-Linse (Z-Bereich 220 µm)

höhe von 12,631 µm für die Stufe AB, und für die Stufe BC wurde eine Höhe von 12,495 µm gemessen.

Ergebnisse und Anwendungen

Ein Vergleich der Messdaten von Arinna und Isara 400 zeigt eine maximale Abweichung der Stufenhöhenmessung von 18 nm. Diese Abweichung stimmt mit der kombinierten Messgenauigkeit von Isara 400 und Arinna überein. Dies zeigt, dass Arinna als schnelles und hochgenaues Messinstrument zur Vermessung von Oberflächen im Mikro- und Nanobereich verwendet werden kann

Arinna ist zudem für kalibrierte Messungen industriell relevanter Strukturen geeignet. Die Auswahl von Messungen in den **Bilder 9a bis e** belegt das Potenzial aus großem, vertikalem Messbereich, Sub-2-nm-Auflösung und der Fähigkeit, diskontinuierliche Oberflächen zu messen. ■ MI110385

Ein Teil der Entwicklung des WSI-Technologie erfolgte innerhalb des EU-FP7-NanoMend-Projekts

AUTORIN

Dr. THERESA SPAAN-BURKE ist Innovation Director bei IBS Precision Engineering im niederländischen Eindhoven; burke@ibspe.com