

Präzision jenseits der Messbarkeit

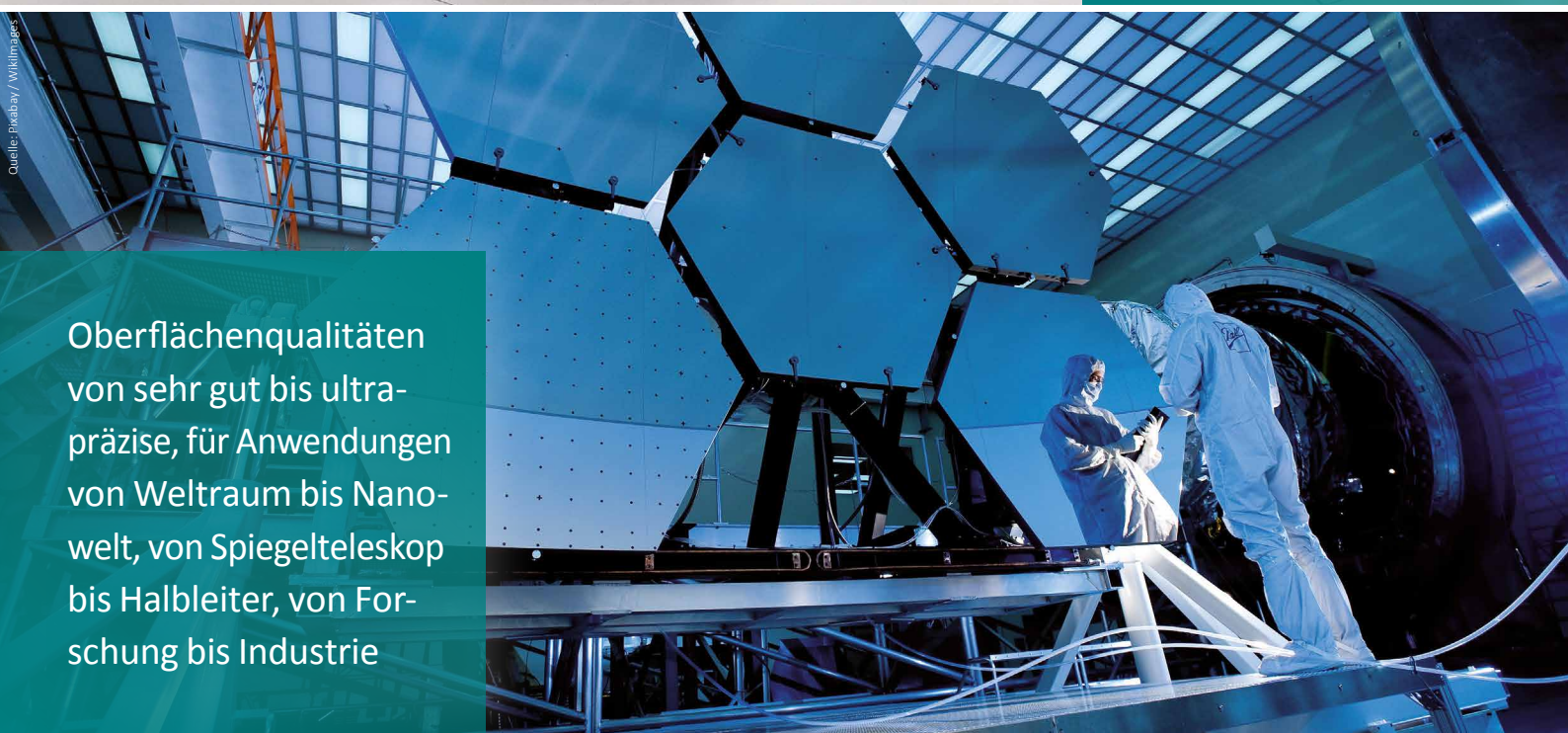


Ionenstrahlbearbeitung

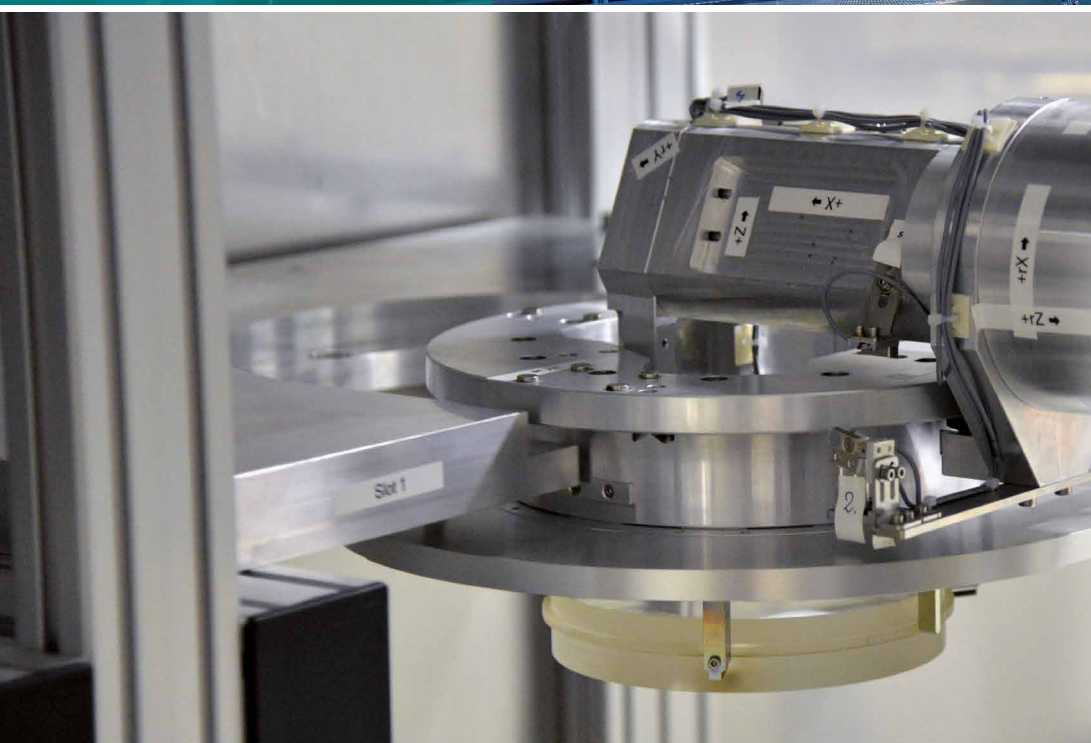
Technologie, Anlagen, Ergebnisse



Hochtechnologie
im Vakuum für
höchste Anforderungen an die
Oberflächengüte



Oberflächenqualitäten
von sehr gut bis ultra-
präzise, für Anwendungen
von Weltraum bis Nano-
welt, von Spiegelteleskop
bis Halbleiter, von For-
schung bis Industrie



Automatisierungs-
lösungen je nach
Kundenwunsch
für effizientes
Arbeiten

Präzision, für die nur Sie die Limits setzen

Optische Systeme sollen immer genauer arbeiten, Laser und Hochleistungsoptiken weiter an Leistung zunehmen, hochintegrierte Schaltkreise müssen immer schmaler und flacher werden. In diesen Segmenten ist es bereits seit längerer Zeit notwendig, Formabweichungen und Oberflächenrauheiten im Nanometerbereich erreichen zu können. Das ist bei ebenen Flächen aufwendig, bei gekrümmten Oberflächen komplizierter, bei Freiformflächen sowie Asphären wird es richtig spannend.

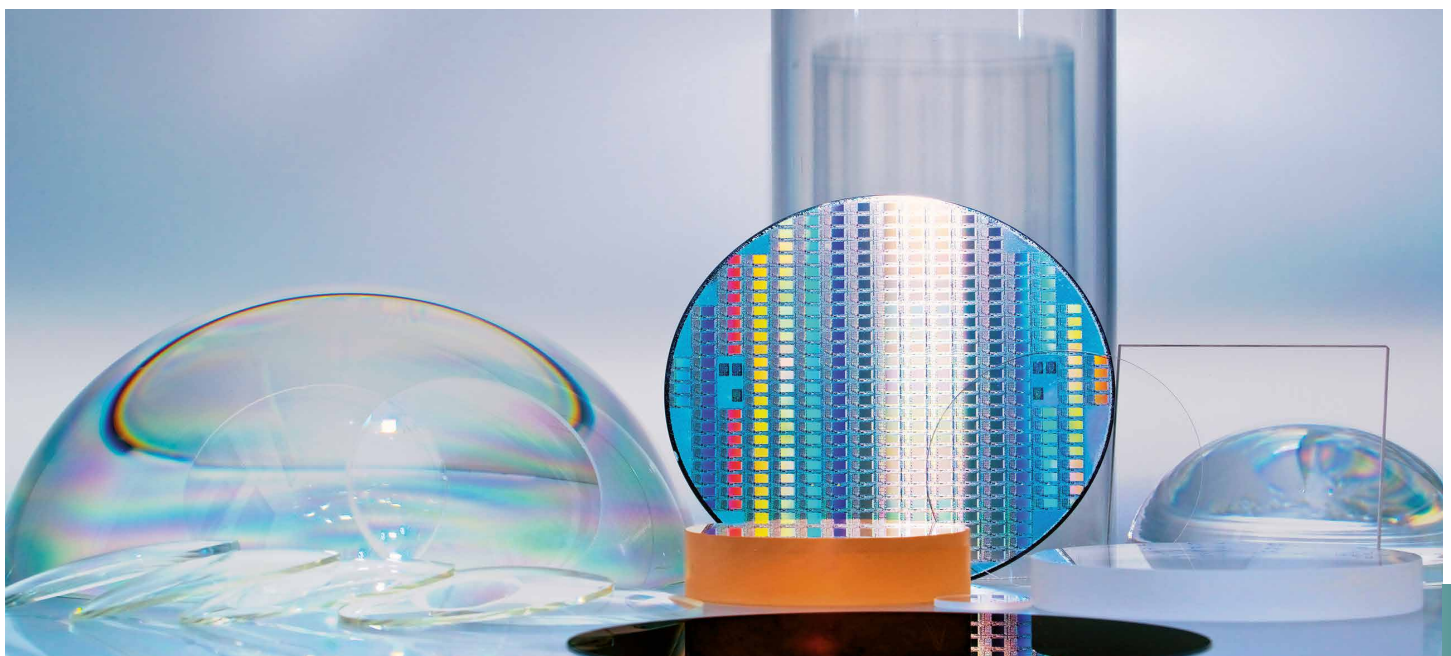
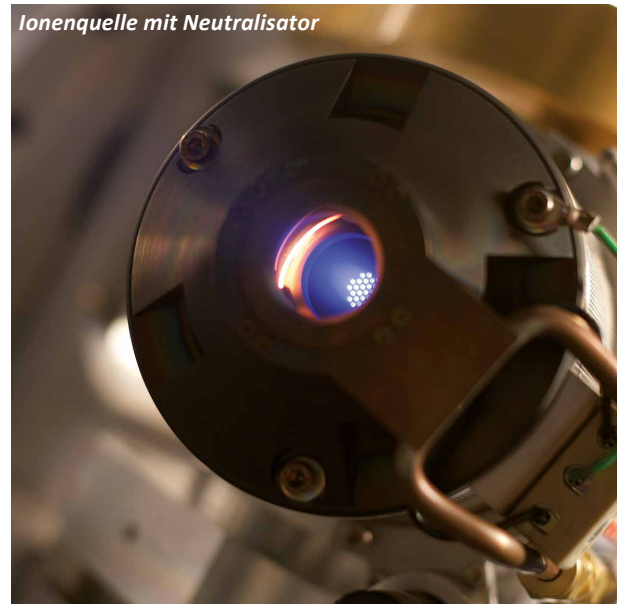
Die Ionenstrahl-Bearbeitung oder Ion Beam Figuring (IBF) ist die High-End-Methode, die auch auf die Herausforderungen der Zukunft die passende Antwort geben kann. Einzig die Physik und Kenngrößen wie der Atomdurchmesser bilden die Präzisionsgrenzen dieser Technologie. Kein Werkzeug und nicht ein Körnchen Poliermittel berühren mehr die zu bearbeitende Oberfläche. Nur ein Strahl von Argon-Atomen, beschleunigt auf etwa 250.000 km/h, trifft auf das Werkstück und führt zu einem mikroskopischen Zerstäubungseffekt (englisch sputtering). Einfach ausgedrückt: Sandstrahlen mit Atomen, mal kräftiger, mal behutsamer, aber niemals mit ungewollten Bearbeitungsspuren auf der Oberfläche.

Wir bei der OPTEG forschen, entwickeln und arbeiten an und mit dieser Technologie seit über 15 Jahren. Große Namen der Optikindustrie und renommierte Zentren der Forschung auf diesem Gebiet vertrauen auf unsere Produkte. Über den gesamten Globus verteilt betreuen wir Anlagen.

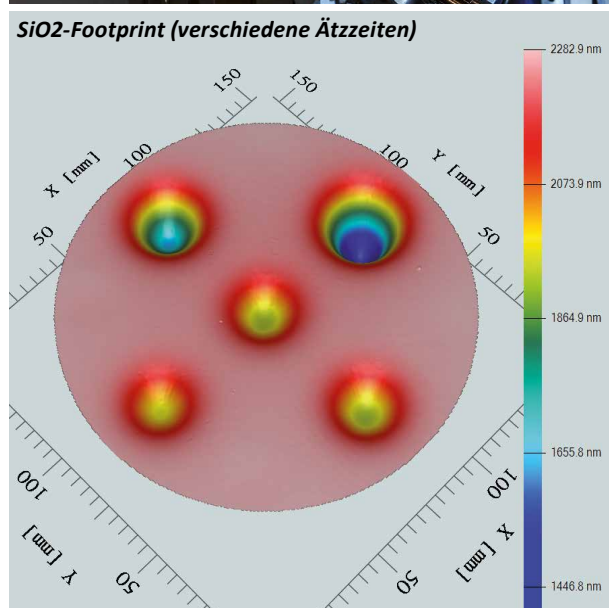
Ich lade Sie ein, einzutauchen in die Welt der beschleunigten Ionen und der Präzision, für die nur Sie selbst das Limit setzen. Egal, ob es in Ihrer Fertigung auf Mikrometer oder Nanometer ankommt, die Sollwerte werden erreicht, stabil und reproduzierbar. Unsere Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker freuen sich über jede neue Herausforderung. Wir denken über Grenzen hinweg, in Prozessen, als Organismus. Welche Grenze dürfen wir für Sie überwinden?

Mit herzlichen Grüßen

Dr. Steffen Gürtler
Geschäftsführer



Sandstrahlen mit Atomen oder was bedeutet Ionenstrahlbearbeitung?



Durch Ionenstrahlbearbeitung (engl.: Ion Beam Figuring/IBF) können selbst kleinste Fehler einer Oberfläche korrigiert werden. Man spricht bei dieser Art des Polierens auch von „corrective polishing“. Dabei werden Tiefengenauigkeiten im Nanometer- und Ortsauflösungen im Millimeterbereich erreicht. Wegen der sehr hohen erreichbaren Genauigkeit ist die Ionenstrahlbearbeitung sehr gut als letzter Bearbeitungsschritt anwendbar. Danach schließen sich, je nach Produkt und Technologie, beispielsweise noch Prozesse der Beschichtung von optischen Oberflächen an.

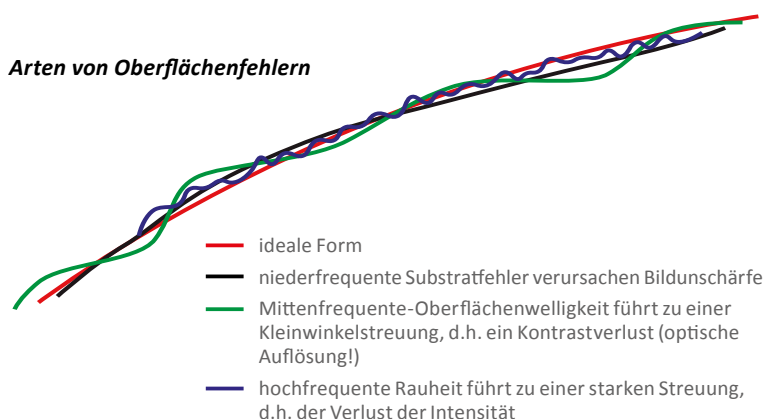
Berührungsloses Polieren unter Vakuum, auch über den Rand hinaus

Das IBF-Verfahren ist berührungslos, was es für die optische Fertigung sehr vorteilhaft macht. Für den Abtrag winzigster Teilchen auf der Werkstückoberfläche sorgen beschleunigte Argon-Atome. Die Intensität des Abtrags wird über die Verweilzeit an der betreffenden Stelle des Werkstücks gesteuert (Verweilzeitmethode). Bei den meisten Materialien bleibt der Rauwert der Oberfläche unverändert. In einigen Fällen verbessert er sich sogar, zum Beispiel bei der Ionenstrahlbearbeitung von Quarzglas und Silicium. Ein weiterer Vorteil von IBF ist, dass Werkstücke auch über den Rand hinaus bearbeitet werden können. Besonders praktisch ist das zum Beispiel bei optischen Linsen oder Spiegeln. Damit erhöht sich die freie Apertur. Neu entstehende Beschädigungen der Oberfläche durch die Bearbeitung sind ausgeschlossen.

Ionenstrahlen verschiedener Durchmesser für perfekte Ergebnisse

Ionenstrahlbearbeitung findet unter Vakuum statt. Die zu bearbeitenden Materialien müssen also vakuumkompatibel sein. Zu Beginn des Prozesses wurde durch eine interferometrische Messung ermittelt, wie groß der zu korrigierende Fehler ist. Je nach Größe des Fehlers und damit des abzutragenden Materials wird der passende Strahldurchmesser gewählt. Den Strahldurchmesser der Ionenstrahlquelle passt man mit Hilfe von vorgesetzten Blenden oder dem Einsatz eines anderen Quellendurchmessers an. Je kleiner die Fehler in der lateralen Auflösung, desto kleiner muss der Strahl werden. Man beginnt mit den langwelligenen Fehlern, korrigiert diese mit dem großen Strahldurchmesser und arbeitet sich iterationsweise zu den kurzwelligen Fehlern mit kleinerem Ionenstrahl herunter.

Arten von Oberflächenfehlern



Schritt für Schritt zum Maximum der Oberflächengüte

Nach dem Programmdurchlauf wird die Probe aus der Maschine ausgeschleust und die Schleuse belüftet. Nun folgt wieder eine interferometrische Messung. Im anschließenden iterativen Prozess wird die Oberflächengüte von Durchlauf zu Durchlauf immer weiter gesteigert, bis die gewünschten Qualitätsanforderungen erreicht sind. Je feiner die Flächen bearbeitet werden müssen, desto kleiner werden auch die Blenden vor der Ionenquelle gewählt.

Schneller zum Ziel: Blenden der Ionenquelle innerhalb der Vakuumkammer wechseln

Um den Prozess weiter zu optimieren und die Bearbeitungsdauer zu verkürzen, entwickelte OPTEG ein System zum Wechseln der Blenden für die Ionenquelle innerhalb der Vakuumkammer. Damit kann zum Beispiel von einer 8 mm-Blende für den nächsten Durchlauf auf eine 4 mm-Blende gewechselt werden, ohne das Vakuum in der Kammer zu brechen.

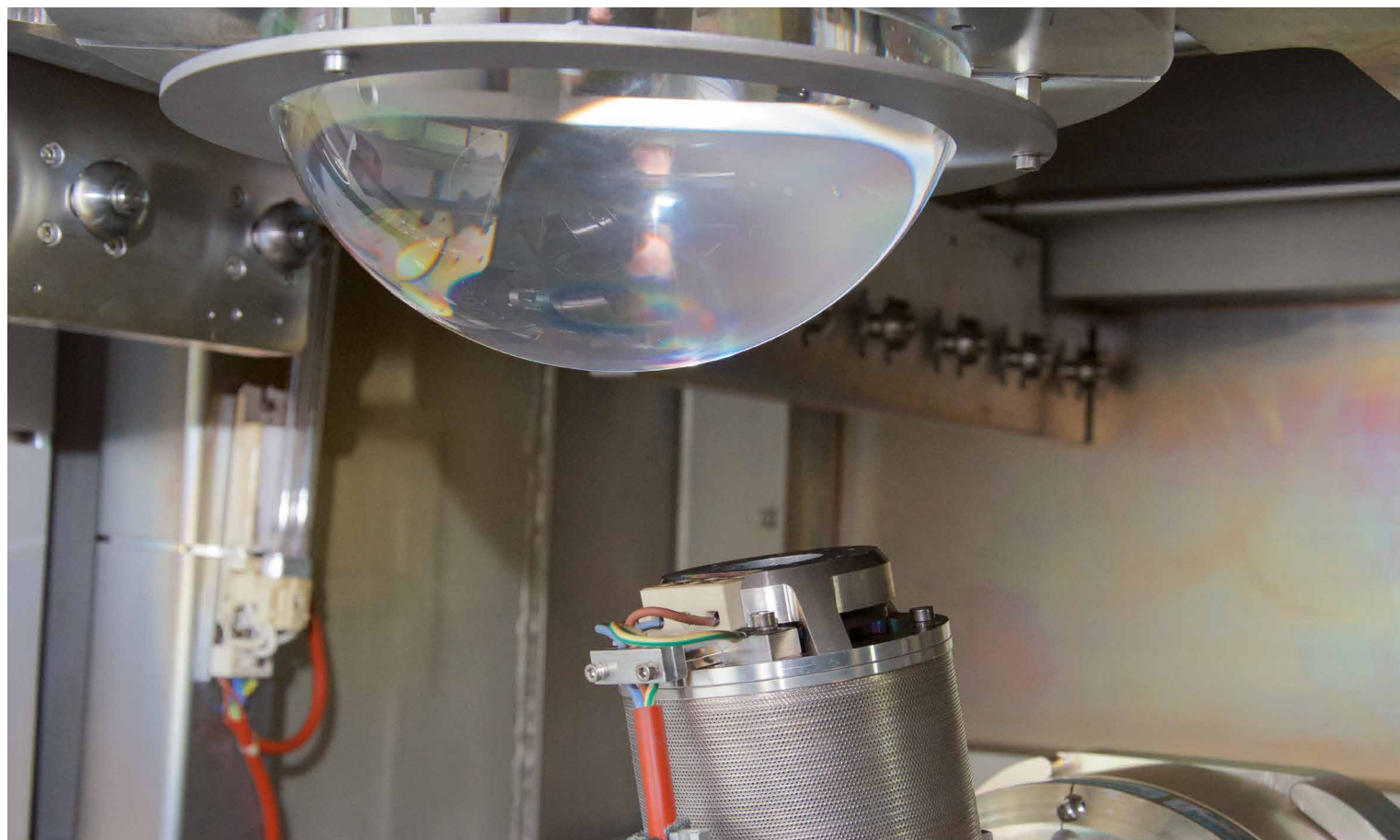
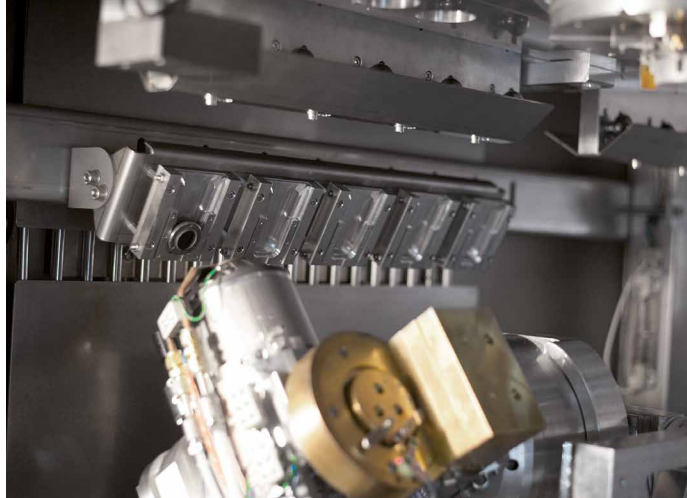
Noch mehr Innovation: Ätzrate live ermitteln

Mit einem neu entwickelten Live-Ätzraten-Gerät lässt sich die Ätzrate ermitteln, ohne eine extra Probe gleichen Materials testweise bearbeiten zu müssen. Man muss keine Dummyprobe einschleusen, bearbeiten, ausschleusen und messen, um die Ätzrate zu bestimmen. Das kann mit diesem innovativen Zusatzmodul alles innerhalb der Vakuumkammer passieren, vergleichbar mit einem Faraday-Scan. Das verkürzt deutlich die Vorbereitungszeit.

Einschleusen in der Vorkammer



Blendenwechsler



Ionenstrahlbearbeitung im Vergleich zu anderen Technologien

MRF-Polieren

MRF steht für Polieren mit „Magneto-Rheologischem Fluid“, englisch „Magneto-Rheological Finishing“. Es geht um das Korrekturpolieren von Feinpassfehlern mit einem magnetischen Poliermedium auf 3-Achs- oder 4-Achs-CNC-Maschinen. Der Abtrag entsteht durch eine Relativbewegung zwischen dem Werkstück und einer viskosierten Polierflüssigkeit. Diese Flüssigkeit besteht aus entionisiertem Wasser, einem Poliermittel und Eisenpulver. Dadurch lässt sich dieses Fluid über ein Magnetfeld formen.

Am Beginn des Bearbeitungsprogramms steht auch hier eine interferometrische Messung, die ein Interferogramm liefert. Die zu bearbeitenden Differenzen werden als CNC-Bahn berechnet und dann abgearbeitet.

Das Verfahren ist bei wasserlöslichen Materialien technologisch bedingt nicht anwendbar. Jede Bearbeitung hinterlässt auch unerwünschte Strukturen auf dem Werkstück.

Der Aufwand für die Einrichtung eines Prozesses, um zum Beispiel $\lambda/30$ zu erreichen, ist bereits hoch. Besonders schwierig und aufwendig wird es bei asphärischen Flächen. Sowohl die Investitionskosten für eine Maschine als auch die laufenden Kosten für das Fluid bewegen sich auf sehr hohem Niveau.

Computergesteuertes Polieren (CCP)

Beim „Computer Controlled Polishing“ arbeiten CNC-Maschinen oder Roboter mit kleinen zonalen Werkzeugen. Der Abtrag entsteht durch die Relativbewegung zwischen dem rotierenden Polierwerkzeug und dem Werkstück. Eine Poliersuspension wird zugeführt. Der Prozess wird über die Verweilzeit gesteuert.

Bei dieser Technologie kommen nicht nur Flüssigkeit und abrasive Partikel in Kontakt mit dem Werkstück, sondern auch das Polierwerkzeug. Die Anforderungen an das Bewegungssystem sind daher extrem.

Trotzdem ist die erreichbare Genauigkeit begrenzt. Schon für $\lambda/20$ ist ein sehr hoher Aufwand erforderlich.

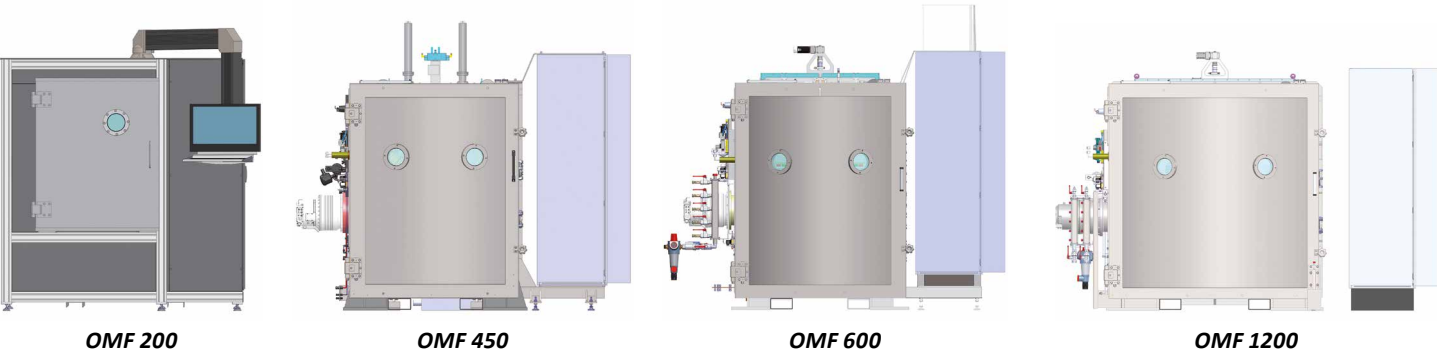


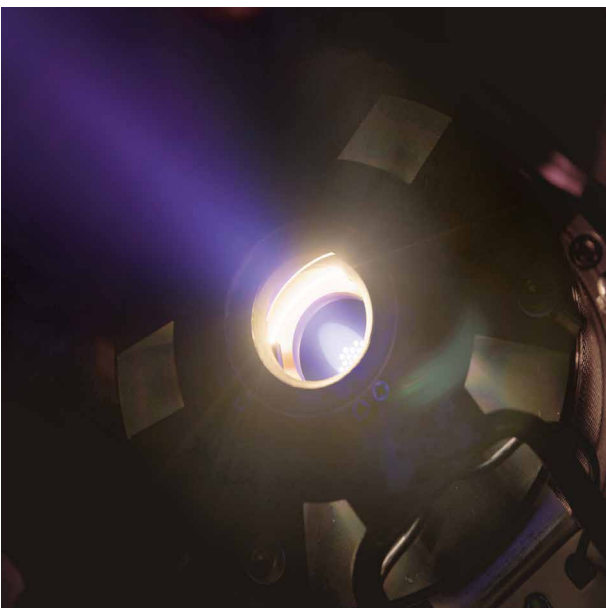
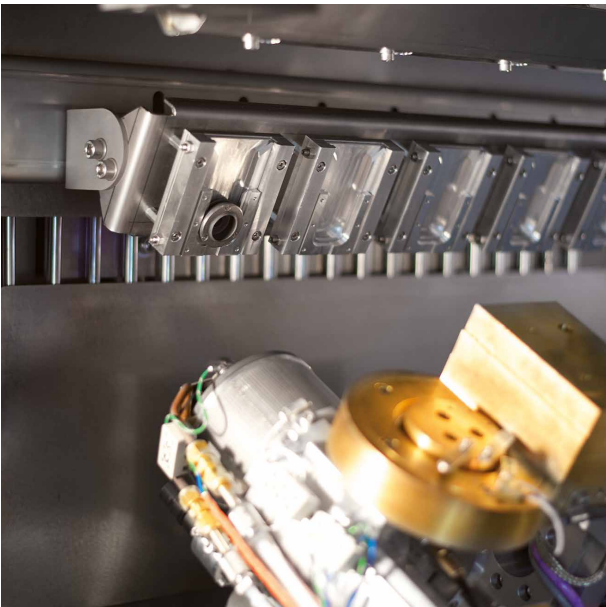
Die OMF-Reihe – Ultrapräzision in Serie



Technische Daten

Modell	OMF 200	OMF 450	OMF 600	OMF 800	OMF 1200
Direkt angetriebene Achsen	6	6	6	6	6
max. Durchmesser planer Proben	200 mm	450 mm	600 mm	800 mm	1200 mm
Durchmesser nicht planer Proben	abhängig vom Krümmungsradius, eine zusätzliche siebente Achse erweitert den möglichen Werkstückdurchmesser (optional erhältlich)				
max. Dicke	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
max. Gewicht	35 kg	35 kg	100 kg	100 kg	200 kg





Die OMF-Reihe

Überzeugende Kundenvorteile

- erreichbare Oberflächenqualität von $\lambda/200$ und besser (je nach Messsystem)
- Startgenauigkeit von einem Lambda @633 nm ist ausreichend
- jede Maschine ist mit einem **6-achsigen Direktantriebs-system** ausgerüstet, damit bekommt die Ionenquelle immer eine rechtwinklige (orthogonale) Position zur Werkstückoberfläche
- bearbeitbare Formen können sein:
plan, kugelförmig, Asphäre, Freiform, außeraxiale Asphären, Acylinders;
Formen wie Prismen, Axicons oder andere auf Anfrage
- Bearbeitung über die gesamte Oberfläche **bis zum Rand** und darüber hinaus
- alle Bearbeitungsbewegungen (mäandernd, spiralförmig, freiform etc.) sind möglich, ohne die Einrichtung der Maschine zu ändern
- alle monokristallinen, amorphen und metallischen Materialien können bearbeitet werden.
Beispiele: alle Arten optischer Gläser, Quarzglas, Zerodur, ULE, KDP, Saphir, Si, SiC, Ge etc.
- absolut stabile Prozesse mit **extremer Reproduzierbarkeit**
- jede Maschine besitzt eine **Hauptkammer und eine Schleusenkammer**, was den Wechsel der Werkstücke beschleunigt
- automatische **in situ-Blendenwechsler** für verschiedene Ionenstrahl-Durchmesser von 0,5 bis 20 mm (optional erhältlich)
- **vollautomatisierter Prozess**, iterativer Prozessworkflow, ohne Messung des Werkstücks zwischen Prozessen mit unterschiedlichen Blendenöffnungen, Erweiterung des Prozesses durch Roboter und Ablagesysteme für die vollautomatische Bearbeitung mehrerer verschiedener Werkstücke (optional erhältlich)
- **Echtzeitmesssystem** zur Bestimmung der Ionenstrahl-Ättrate innerhalb von Sekunden, ohne Verwendung einer separaten Werkstückprobe (optional erhältlich)
- **niedrige Betriebskosten** und geringer Wartungsaufwand

Optionen und zusätzliche Funktionen

Optionen

Upgrade Option 1

Vorkammer-System

Vorkammersystem bestehend aus einer BUSCH-Trockenpumpe mit einer Zusatzpumpe vom Typ COBRA DP250A mit 220 m³/h Pumpleistung

Upgrade Option 2

Vorkammer-System

Vorkammersystem bestehend aus zwei BUSCH-Trockenpumpen mit einer Zusatzpumpe vom Typ COBRA DP250A mit 220 m³/h Pumpleistung separat für die Vorkammer und die Hauptkammer

Zusätzliche zweite Turbomolekularpumpe

Zusätzliche zweite Pfeiffer Vakuum-Turbomolekular-Pumpe mit 1.900 l/s Pumpleistung für ein zweifach besseres Vakuum

Meissner-Falle

Zusätzliche Meissner-Falle mit > 0,5 m² Oberfläche für ein deutlich schneller aufgebautes Vakuum in der Hauptkammer für hocheffiziente Bearbeitung

Absperrarmatur für Turbomolekular-Pumpen

Erhöht die Vakuum-Reinheit und schützt die Turbomolekular-Pumpen gegen Verschmutzung beim Belüften der Anlage. Mit zwei Turbomolekular-Pumpen und einer Zweiwege-Armatur ist der Wechsel einer Pumpe möglich, ohne das Vakuum zu brechen.

Zusätzliche Funktionen

7. Achse

ermöglicht die Bearbeitung größerer Durchmesser mit starker Krümmung, maximaler Durchmesser auf Anfrage

Blendenwechsler

ermöglicht den Wechsel der Blende für die Ionenstrahlquelle im Betrieb (in der Vakuumkammer), maximal fünf Blenden, alle Durchmesser von 0,5 bis 20 mm

Echtzeit-Ätzenmessung

auf Low Coherence-Technologie basierendes Messsystem um die Ätzrate der Ionenquelle zu bestimmen, ermittelt die Ätzrate innerhalb von Sekunden mit einer Genauigkeit von +/- 0.1 nm/s, einschließlich eines selbstaustauschbaren Probenhalters für verschiedene Materialien, mehrere Ätzen-Bestimmungen mit einem Messkopf möglich

Justierungs-Kamera

Einrichten und Justieren neuer Werkstücke ohne Footprint oder Probe-Ätzen möglich

Zusätze für Beschichtungsvorgänge

Paket für die Glättungs-Technologie, bestehend aus einer zusätzlichen Beschichtungseinheit mit einem Target (z.B. Silizium), zum Beschichten und Ätzen mit verschiedenen Materialien

UVS-System

Unterbrechungsfreie Stromversorgung (UVS) für die Anlage zur Ionenstrahl-Bearbeitung, Fernbedienung über das Stromnetz (Powerline) mit Meldefunktion auf einer grafischen Bedienoberfläche und Automatik zum Herunterfahren

Bedienung und Automatisierung

Manuelles Bedien- und Beladungssystem

Manuelles Bediensystem zum Be- und Entladen der Anlage über eine Vorkammer

Roboter und Werkstücklager-Paket ¹

Prozesserweiterung durch Roboter und Werkstücklager für einen kompletten vollautomatische Arbeitsablauf von mehreren verschiedenen Proben, automatisches Be- und Entladen der Proben, ermöglicht die Bearbeitung mehrerer Proben in Folge ohne menschlichen Eingriff, verschiedene Robotersysteme in Abhängigkeit von Werkstückgröße und Gewicht stehen zur Verfügung

¹ Modell OMF 450 benötigt für den Robotereinsatz eine größere Vorkammer.



Ionenstrahlbearbeitung verschiedener Materialien – das lässt sich erreichen

Hier finden Sie vorher/nachher-Darstellungen von Materialien, deren Oberflächen mit einer unserer OMF-Maschinen bearbeitet wurden. Was lässt sich dabei herauslesen?

Es ist technologisch sinnvoll, bereits bei Peak to Valley-Werten (PV) im Mikrometerbereich mit der Ionenstrahlbearbeitung anzusetzen. Schon nach einem Poliergang kommt man in den dreistelligen Nanometer-Bereich. Dann geht es weiter herunter, soweit wie es die Anwendung erfordert – beziehungsweise der Kunde es wünscht.

Die Anzahl der notwendigen Iterationen hängt nicht vom Material, sondern von der Art der Fehler auf der Oberfläche ab. Langwellige Fehler (lowfrequency) sind mit einem großen Ionenstrahl sehr einfach und schnell zu korrigieren. Je kleiner die Fehler werden, desto kleiner muss auch der Strahl gewählt werden.

Wegen des stark automatisierten Prozesses fällt die Anzahl der Arbeitsgänge selten merklich ins Gewicht. In jedem Fall gilt: Präziser als mit dem unterschiedlich dicken Strahl der beschleunigten Ionen lässt sich eine Oberfläche nicht polieren. Das gilt natürlich auch für wasserlösliche Stoffe. Sehen Sie sich die Ergebnisse an. Oder sprechen Sie uns an wegen einer Testbearbeitung! Wir lieben Herausforderungen.

Darstellungen der Ergebnisse – das steckt hinter den Zahlen und Grafiken

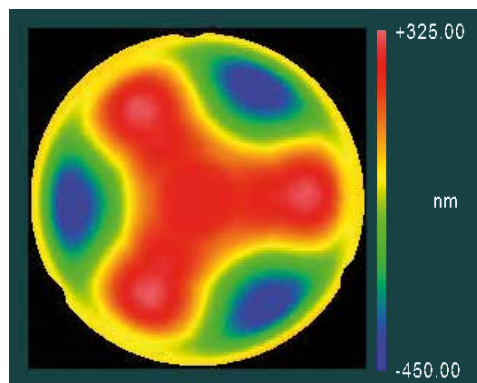
Die hier vorgestellten Proben wurden interferometrisch vermessen. Im Beispiel „Material: BK7“ wurde eine plane Probe bearbeitet. Auffällig ist die Geometrie (Zernike Polynom) der Werkstückoberfläche vor der Politur. Die symmetrischen Formen sind kein Zufall, sondern wurden bewusst zum Test der IBF-Technologie in die Oberfläche eingearbeitet. Im Ergebnis konnte der PV-Wert schon nach zwei Iterationen auf ein Siebentel des Ausgangswerts gesenkt werden. Die quadratische Rauheit sank fast um das Zwanzigfache. Um überhaupt noch Fehler in der Oberfläche sichtbar machen zu können, wird die Balkenskala jeweils rechts neben dem Bild von der Software des Messgeräts entsprechend angepasst. Für eine bessere Korrektur müssten weitere Iterationen mit kleineren Strahldurchmesser erfolgen.

Material: BK7

Werkstückeigenschaften: flach, $\varnothing$ 70 mm

Before IBF:

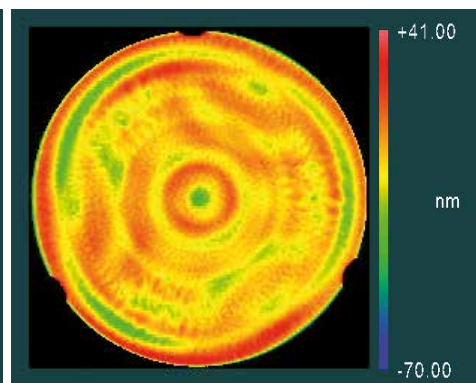
Final Figure: 2 Iterations, 7x times better PV, 19,5x times better rms



PV 768.261 nm
rms 193.161 nm
Power -289.192 nm
Re 157.57 nm



PV 108.977 nm
rms 9.912 nm
Power 1.555 nm
Ra 7.57 nm



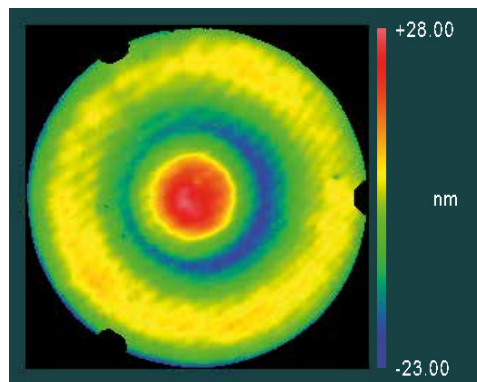
PV 108.977 nm
rms 9.912 nm
Power 1.555 nm
Ra 7.57 nm

Material: SiC

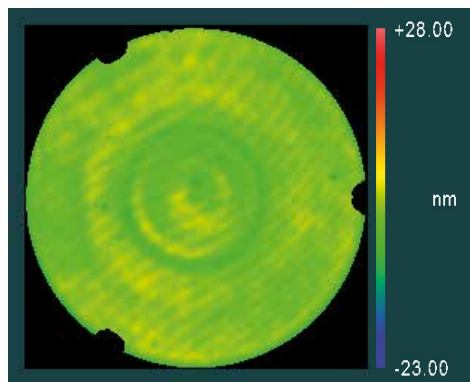
Werkstückeigenschaften: flach, $\varnothing$ 100 mm

Before IBF:

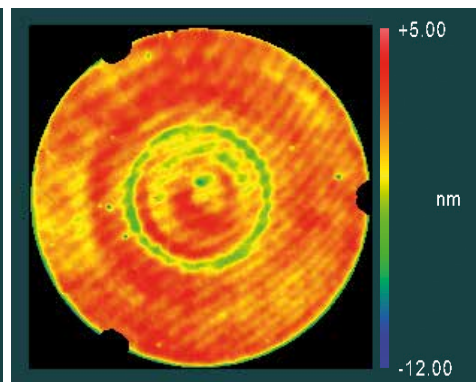
Final Figure:



PV 50.601 nm
rms 7.730 nm
Power 1.180 nm
Re 6.10 nm



PV 16.115 nm
rms 1.765 nm
Power 0.532 nm
Ra 1.34 nm



PV 16.115 nm
rms 1.765 nm
Power 0.532 nm
Ra 1.34 nm

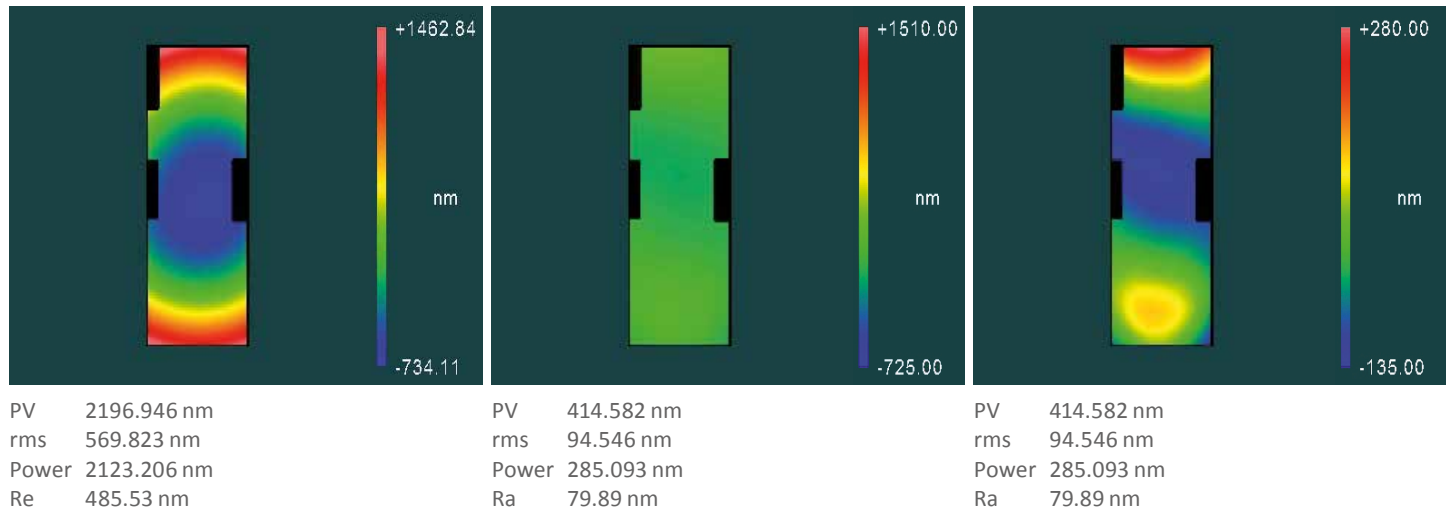
Interessant ist auch der Blick auf die Probe „Material: Nd:YAG“ (Neodym-dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat, wie es für Festkörperlaser verwendet wird). Wir starten hier bei einem PV-Wert von eher „groben“ 2,2 Mikrometer. Schon nach einem Poliergang sinkt dieser auf 415 Nanometer. Würde man die Skalierung der Ausgangsprobe beibehalten, ließe sich keinerlei Oberflächenabweichung mehr feststellen. Erst wenn man etwa um den Faktor 5 „heranzoomt“ (obere Reihe, rechtes Bild) lassen sich die winzigen Abweichungen noch erkennen.

Material: Nd:YAG

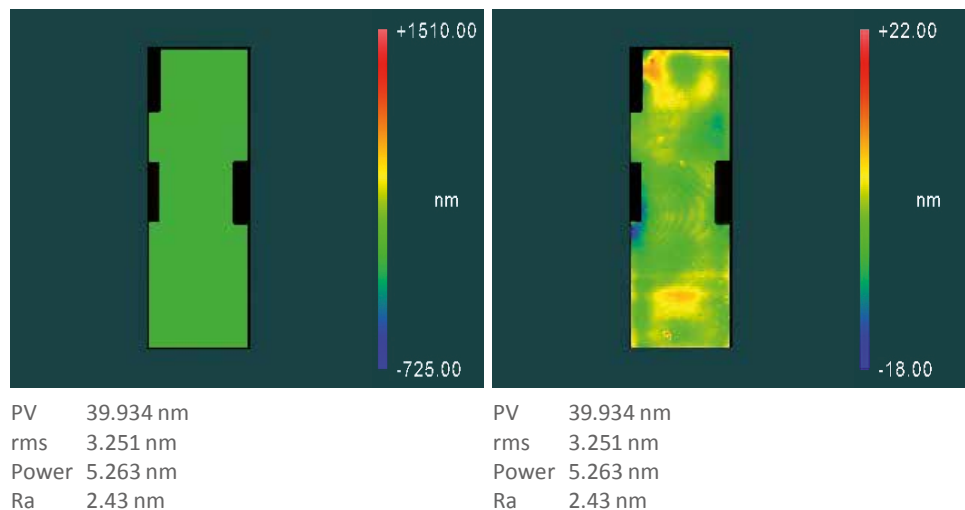
Werkstückeigenschaften: flach, 30 x 90 mm

Before IBF:

1 Iteration: 5x times better PV, 6x times better rms



Final Figure: after 5 Iterations, 55x times better PV, 190x times better rms

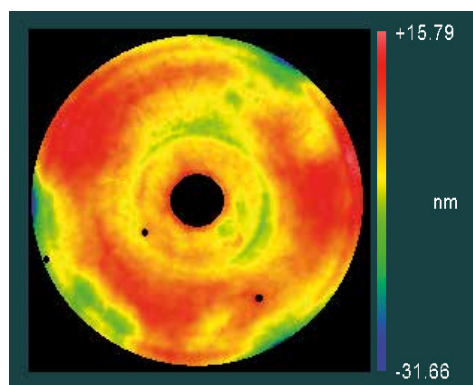


Die beiden unteren Bilder zeigen: Mit vier weiteren Bearbeitungsgängen erreicht man einen PV-Wert im zweistelligen Nanometerbereich. Links wieder in der Empfindlichkeit beim Ausgangswert gezeigt, rechts dagegen „herangezoomt“. Die OMF-Anlage erreicht also mit fünf Arbeitsgängen eine 55fache Verbesserung der Oberflächenqualität.

Material: SiO₂

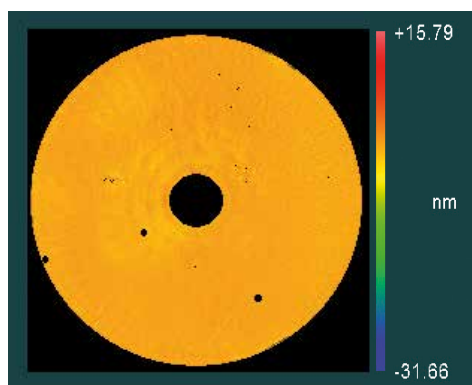
Werkstückeigenschaften: konkav, ø 200 mm, Krümmungsradius 339,28 mm

Before IBF:

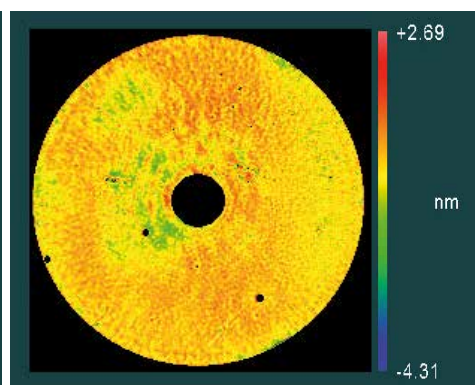


PV 47.448 nm
rms 5.900 nm
Power -8.914 nm
Re 4.67 nm

Final Figure:



PV 7.003 nm
rms 0.388 nm
Power -48.274 nm
Ra 0.30 nm

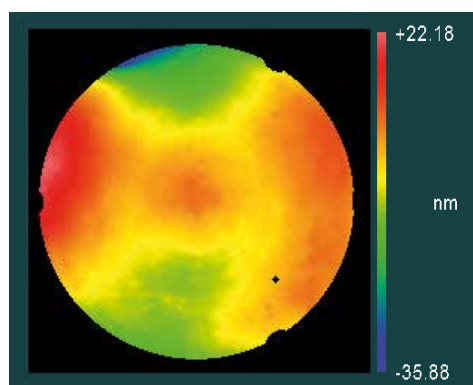


PV 7.003 nm
rms 0.388 nm
Power -48.274 nm
Ra 0.30 nm

Material: ULE

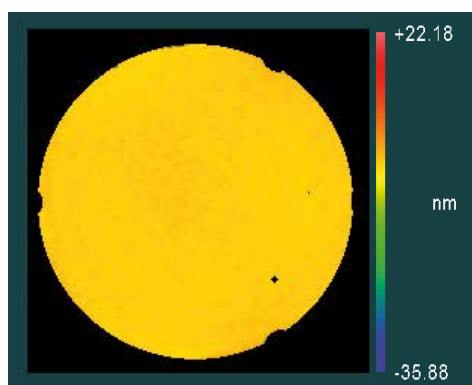
Werkstückeigenschaften: flach, ø 100 mm

Before IBF:

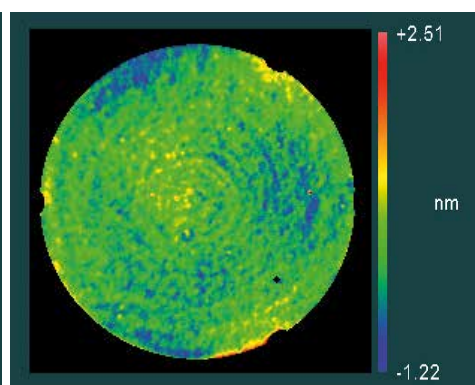


PV 58.063 nm
rms 7.566 nm
Power -3.518 nm
Re 5.79 nm

Final Figure:



PV 3.730 nm
rms 0.331 nm
Power -16.875 nm
Ra 0.26 nm

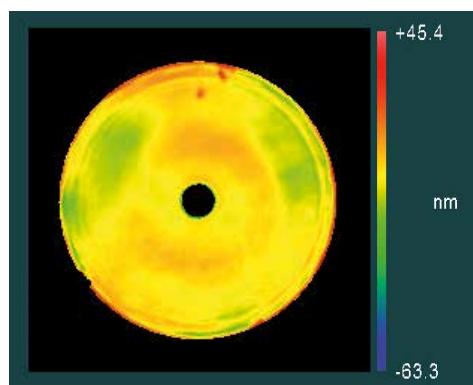


PV 3.730 nm
rms 0.331 nm
Power -16.875 nm
Ra 0.26 nm

Material: Zerodur

Werkstückeigenschaften: konkav, ø 200 mm, Krümmungsradius 339,28 mm

Before IBF:

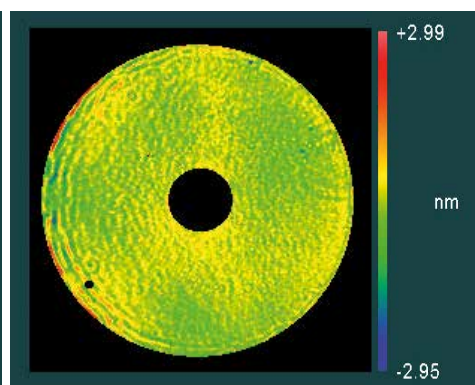


PV 89.914 nm
rms 5.774 nm
Power -121.690 nm
Re 4.15 nm

Final Figure:



PV 5.946 nm
rms 0.352 nm
Power 0.018 nm
Ra 0.25 nm



PV 5.946 nm
rms 0.352 nm
Power 0.018 nm
Ra 0.25 nm



Dr. Steffen Gürtler, Prof. Dr. Reinhard Schwabe, Dr. Axel Schindler und Dr. Volker Gottschalch gründeten 2001 in Leipzig das Unternehmen OPTEG. Sie hatten die Technologie der Ionenstrahlbearbeitung maßgeblich mitentwickelt und zur Marktreife geführt. Heute beschäftigt die Firma 16 Mitarbeiter, allein 14 davon in Forschung und Entwicklung. Mittlerweile werden Anlagen in Deutschland, Tschechien, den USA, Japan, Korea und China betreut. Damit hat sich OPTEG aus Deutschland im Bereich der Ionenstrahl-Maschinen zur ultrapräzisen Formgebung optischer Materialien eine weltweit führende Position erarbeitet.

Ehrungen für intelligente Lösungen und herausragende Technik

Die Maschinen zur Oberflächenbearbeitung von präzisen optischen Materialien mittels Ionenstrahl-Technologie und plasma-unterstütztem chemischen Ätzen wurden bereits auf den internationalen Fachmessen INTEC 2008 und 2009 mit einem Preis geehrt. Im Jahr 2015 war die OPTEG mit dem weltweit ersten automatischen, robotergestützten Be- und Entladesystem für Ionenstrahl-Formkorrekturanlagen zum Handling großformatiger Werkstücke für die Präzisionsfertigung erfolgreich.

Freies Zusammenspiel der Kompetenzen

Unsere Sparte Optische Messtechnik entwickelt hochpräzise Geräte zur Messung von Oberflächen, Schichtdicken und Dicken optischer Medien mit der Genauigkeit von wenigen Nanometern. Der Bereich Automatisierung erschließt für unsere Kunden Einsparpotentiale in der Produktion, optimiert Prozessketten und macht die IBF-Anlagen effizienter. Unsere Kunden schätzen, dass wir auch sehr individuelle Anforderungen erfüllen können. Das Team ist fachlich breit aufgestellt und kann viele Kompetenzfelder abdecken. Eine flache Hierarchie unterstützt den unverstellten Blick auf die Herausforderung und eine ganzheitliche Lösung. So denken wir Zukunft. Vielleicht demnächst auch für Sie?





OPTEG GmbH
Föpplstraße 9
04347 Leipzig
Germany

Telefon: +49 (0) 341 234 935 19
Fax: +49 (0) 341 234 935 29
E-Mail: info@opteg.de
Web: www.opteg.de

