

Für Ulysse Nardin: Die Umriss der herzustellenden Silizium-Teile werden bei Sigatec mittels UV-Lichtbestrahlung übertragen.

Es ist die Quadratur des Kreises: Als Maurice Lacroix im Frühjahr des Jahres 2010 in Basel eine Uhr mit einem eckigen Zahnrad vorstellt, das sich effektiv auf dem Zifferblatt dreht, freut sich die Marke über eine sensationelle Neuerung. Denn wo hat man das schon einmal gesehen – ein eckiges Rad? Was beim »Masterpiece Régulateur Roue Carrée« so raffiniert erscheint, ist nur dank moderner Technik möglich.

Damit das quadratische Rad durch ein weiteres Zahnrad in Form eines Kleeblatts konstant bewegt werden kann, müssen beide ein unregelmäßiges, genau aufeinander abgestimmtes Profil besitzen. Um diese Zahnformen zu entwerfen und jeden einzelnen Zahn auf die erforderliche Bewegung abzustimmen, bedarf es umfangreicher Berechnungen, Simulationen und Tests, die nur am Computer möglich sind. Auch die Realisierung der unregelmäßigen Verzahnung wäre ohne modernste Fertigungsverfahren nicht möglich: Maurice Lacroix bedient sich dabei der LiGA-Technologie, welche die Verfahrensschritte Fotolithografie und Elektroformen beziehungsweise Galvanik kombiniert. Diese Technologie gehört zu den mikrotechnologischen Verfahren, die die Herstellung winzig kleiner, absolut präziser Komponenten für komplizierte Uhrwerke erlauben.

Diese Verfahren stehen für Zukunft und Fortschritt und überflügeln konventionelle Prozesse mit neuen Möglichkeiten. »Konventionell« bedeutet spanabhebende Fertigung, die heute an computer-

Klein und fein

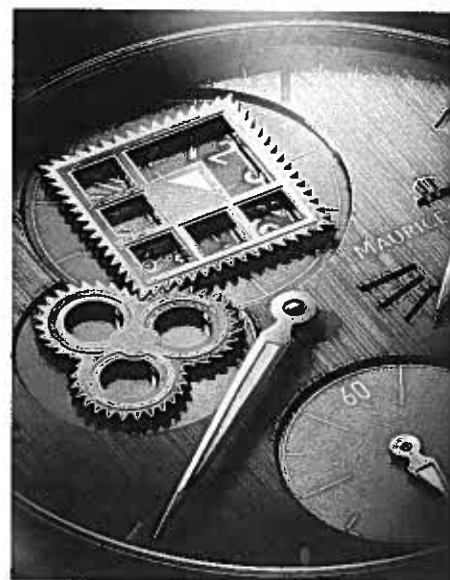
Mikrotechnologien – LiGA- und DRIE-Verfahren

Perfektion en miniature: Die moderne Uhrenindustrie benötigt kleine, hochpräzise Komponenten. Bei deren Herstellung helfen ultramoderne mikrotechnologische Verfahren und eröffnen völlig neue Dimensionen.

gesteuerten CNC-Maschinen stattfindet. Die CNC-Technologie beginnt in den 1970er-Jahren und wird seitdem stetig weiterentwickelt. Die großen Vorzüge sind die Bearbeitungs- und Wiederholgenauigkeit sowie die hohe Geschwindigkeit der Bearbeitungsschritte. Konventionelle Bearbeitung umfasst zum Beispiel Stanzen, Drehen, Fräsen oder Bohren von Teilen. Je nach ihrer Größe und Geometrie müssen spezielle Werkzeuge und Formen gefertigt werden, was zeitintensiv, teuer

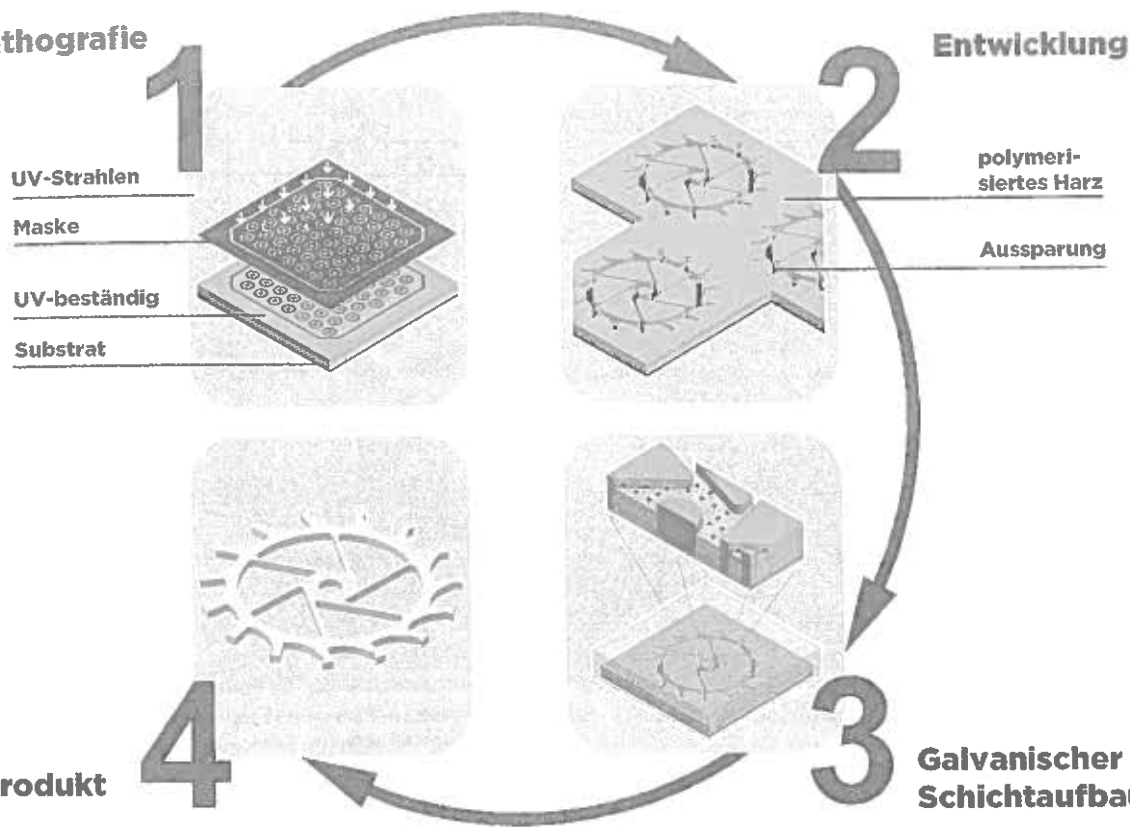
Serie

Wissen	Ausgabe
Beschichtungen	9 2010
Mikrotechnologien	10 2010
Schraubenherstellung	11 2010



Maurice Lacroix: Die »Masterpiece Régulateur Roue Carrée« mit quadratischem Zahnrad auf dem Zifferblatt.

Fotolithografie



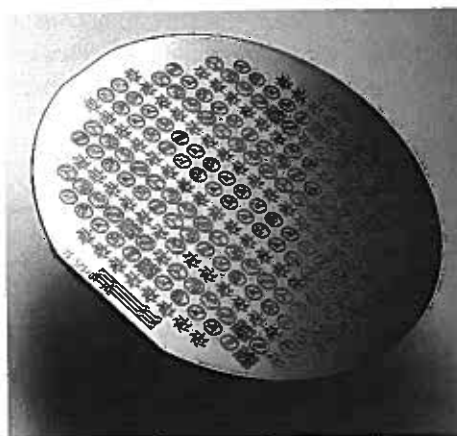
(1) LIGA-Verfahren bei Mimotec: Im ersten Schritt werden die Umrisse der herzustellenden Teile mittels Belichtung auf eine Platte aufgetragen. Aus dem Fotolack werden die Formen der Teile abgetragen, sodass in der Platte ein Negativ des herzustellenden Teils, sozusagen eine Grube entsteht. Diese wird mittels Galvanik aufgefüllt, sodass Uhrwerkskomponenten entstehen.

und unflexibel ist. Außerdem muss eine CNC-Maschine für jedes Teil neu programmiert werden, was ebenfalls komplex ist und viel Zeit in Anspruch nimmt.

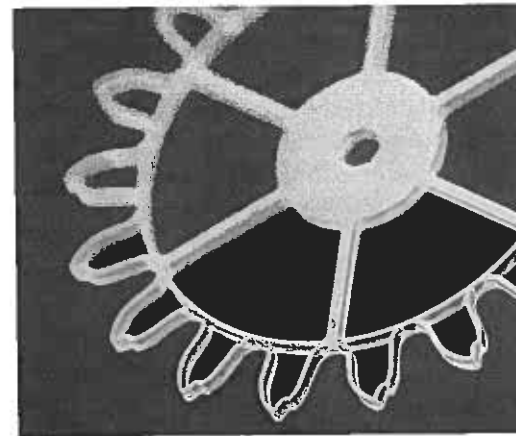
Vor etwa 20 Jahren beginnt die Entwicklung anderer Herstellungsprozesse: Es werden Verfahren der Mikrosystemtechnik entwickelt, die zum Beispiel in der Elektrotechnik, der Medizintechnik und Biotechnologie eingesetzt werden. Auch die Uhrenindustrie profitiert mittlerweile von den modernen Verfahren, die in Zusammenhang mit neuen Werkstoffen wie Silizium oder synthetisch hergestelltem Diamant stehen. Für herkömmliche Werkstoffe wie etwa Edelstahl eignen sich diese Verfahren jedoch nicht.

Die Entwicklung neuer Herstellungsverfahren beginnt vor 20 Jahren

Die neuen mikrotechnischen Verfahren beruhen auf einem gemeinsamen Prinzip: Zunächst muss das gewünschte Teil am Computer konstruiert und gezeichnet werden. Erlaubt ist alles, was erdacht wird: Die Teile können hochkomplex sein, da mit Hilfe mikrotechnischer Fertigung auch ausgefallene Konturen absolut präzise realisiert werden. Nun wird die Zeichnung des Werkteils vervielfacht und die Umrisse der nebeneinanderstehenden Teile auf eine sogenannte Maske aufgebracht. Diese Maske ist eine quadratische Platte aus Glas, die einseitig mit



Patek Philippe: Wafer aus Silizium, aus dem mittels DRIE-Verfahren für Patek Philippe Ankerräder hergestellt werden.

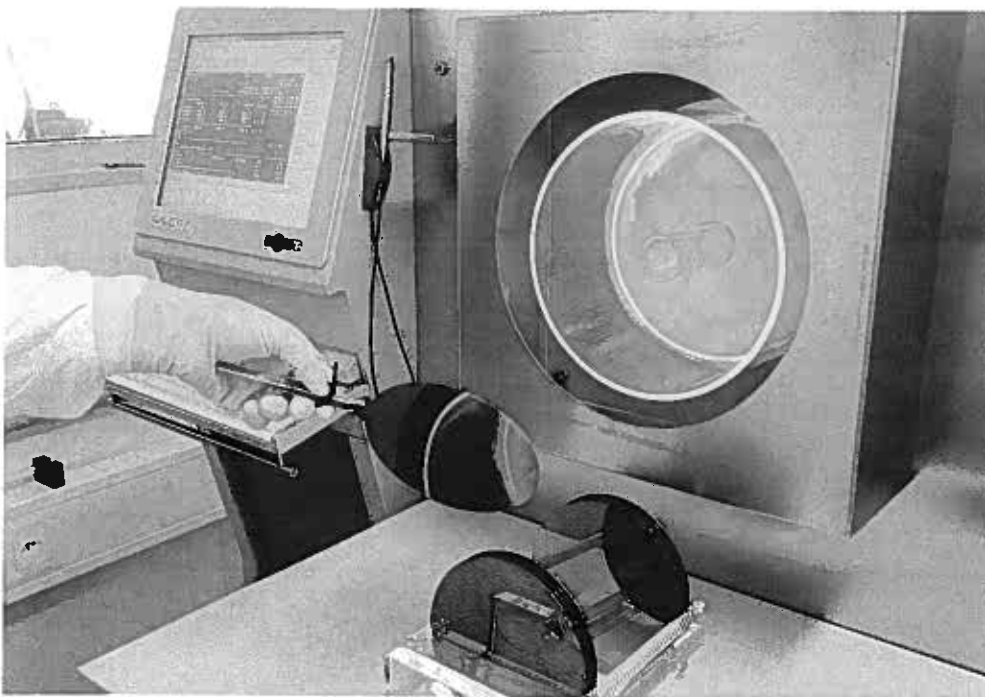


Diamantrad: Skelettiertes und transparentes Hemmrad aus Volldiamant. Die Stege sind bis 0,05 Millimeter fein – ein menschliches Haar misst 0,08 Millimeter.

Chrom beschichtet ist und bis zu 30 Zentimeter Kantenlänge aufweist. Darauf können mehrere hundert Hemmräder Platz finden. Anschließend wird ein fotoempfindlicher Lack auf die Chromseite der Maske aufgetragen und dieser mit den Konturen der herzustellenden Teile belichtet, was nur einige Minuten dauert. Damit übertragen sich die Konturen der Bauteile fotolithografisch auf die Maske. Wird die Platte nun in ein Ätzbad eingebracht, trägt sich das Chrom nur dort ab, wo die Konturen der herzustellenden Teile sich im Fotolack verewigt haben. Damit ist die Maske bereits fertiggestellt und kann von nun an beliebig oft als Vor-

lage eingesetzt werden. Dies ist für mikrotechnologische Verfahren das einzig notwendige »Werkzeug« – deutlich preiswerter als konventionelle Werkzeuge.

Materialien für die Herstellung der Uhrwerksteile sind zum Beispiel Silizium oder synthetischer Diamant. Das Rohmaterial liegt in Form von Platten, den sogenannten Wafers vor. Hilfsmittel ist wieder ein fotoempfindlicher Lack, der auf die Platte aufgetragen wird. Darüber wird die Maske platziert, sodass sich nun bei einer Belichtung der Platte – wieder dauert der Vorgang nur einige Minuten – die Konturen der Werkteile auf der Maske auf den Fotolack der Platte übertragen.



Erwärmt: Die Platte mit Uhrwerkskomponenten für Ulysse Nardin wird bei Sigatec auf bis zu 1100 Grad erhitzt.

In der weiteren Bearbeitung werden grundsätzlich zwei Verfahren unterschieden, deren Prinzip sich begrifflich an der Fotografie orientiert. »Positivverfahren« heißt demnach, dass die auf die Platte übertragene Kontur stehenbleibt und das umliegende Material zum Beispiel durch Ätzung entfernt wird. Es ist eine moderne Art, die Teile quasi auszuschneiden. Nur die Bauteile selbst bleiben durch feine Stege miteinander verbunden zurück und können nun voneinander getrennt werden. Nach diesem Prinzip funktioniert das DRIE-Verfahren (Deep Reactiv Ion

Etching), unter anderem bereits genutzt von Patek Philippe für Ankerräder. Nach der Belichtung der Platte kann auch ein »Negativverfahren« folgen: Hier wird in der Regel ein dickerer Fotolack verwendet und ebenfalls belichtet. Allerdings sind es die Formen des Teils selbst, die aus dem Fotolack abgetragen werden. Dadurch entsteht in der Platte ein Negativ des herzustellenden Teils, sozusagen eine Grube, die mittels galvanischer Verfahren wieder mit Material, meist mit Nickel, aufgefüllt wird. Auf diese Weise werden per LiGA-Verfahren Teile hergestellt –

zum Beispiel die ausgefallenen Räder des »Masterpiece Régulateur Roue Carrée« von Maurice Lacroix. Der Name LiGA ist eine Abkürzung der Verfahrensschritte Lithografie, Galvanik und Abformung.

Welche Vorteile besitzen diese Verfahren? Dr. Peter Gluche, Geschäftsführer der Firma Diamaze Microtechnology in La Chaux-de-Fonds kann gleich mehrere aufzählen und ist davon überzeugt, dass diesen Technologien die Zukunft gehört. Sein Unternehmen hat die mikrotechnische Herstellung von Uhrwerkskomponenten aus synthetischem Diamant zur Serienreife entwickelt und ist im Begriff, diese zu industrialisieren.

Diamaze Microtechnology gehört zu weltweit drei Firmen, die sich auf mikrotechnologisch gefertigte Komponenten für die Uhrenindustrie spezialisiert haben. Dazu zählt die Firma Mimotec, die seit 1998 besteht und auf Basis des LiGA-Verfahrens arbeitet. Das Unternehmen mit Sitz in Sion im Wallis ist unter anderem Zulieferer von Maurice Lacroix und ihres quadratischen Zahnrads. Eine Schwesterfirma, Sigatec, wurde im Rahmen eines Joint Ventures mit Ulysse Nardin am gleichen Firmensitz in Sion gegründet. Sigatec arbeitet auf Basis des DRIE-Verfahrens und hat sich damit auf Werkteile aus Silizium spezialisiert.

Allen drei Unternehmen gemeinsam ist, dass sie der Uhrenindustrie ganz neue Möglichkeiten eröffnen. »Der größte Vorteil der neuen Verfahren ist im Moment, dass sie die präzise Realisierung sehr



Optische Endkontrolle: Die mittels DRIE-Verfahren hergestellten Siliziumteile bei Sigatec unter dem Mikroskop.



Qualitätskontrolle: Die Platte mit den Uhrwerkskomponenten wird bei Sigatec überprüft.

komplexer Formen ermöglichen, ohne dass immense Werkzeugkosten wie bei der konventionellen Fertigung entstehen«, sagt Dr. Peter Gluche von Diamaze Microtechnology. Würden sehr hohe Stückzahlen gefertigt, werden die Vorteile noch deutlicher, so Gluche: »Bei mehreren Millionen hergestellten Teilen pro Jahr sind die neuen Verfahren den herkömmlichen deutlich überlegen. Bei sehr großen Mengen ist die Technologie extrem effizient und preislich attraktiv.« Zumal die Komponenten nach der Fertigung kaum noch einer Nachbearbeitung bedürfen. Silizium erhält allenfalls noch eine Oxidschicht, die sich bei bestimmten Temperaturen in einem Ofen automatisch bildet; Diamantteile erhalten durch ein mikrotechnisches Verfahren mittels angelegter Gase, also Plasma, eine Politur.

Ulysse Nardin löst mit der »Freak« den Trend zur Mikrotechnologie aus

Als weiteren positiven Aspekt nennt Gluche, dass der Uhrmacherei dank der neuen Technik innovative Werkstoffe zur Verfügung stehen: »Silizium und Diamant sind sehr leicht. Dem Uhrwerk kommen zusätzlich die herausragenden Reibeeigenschaften der Materialien zugute, da daraus gefertigte Teile schmierungsfrei arbeiten können.« Von diesen Vorzügen haben sich bereits viele Firmen überzeugen lassen.

Den Trend zum Silizium löst Ulysse Nardin 2001 mit dem Modell »Freak« aus, in dem alle Teile der Hemmung durch entsprechende Komponenten aus Silizium ersetzt sind. Vier Jahre später folgen Patek Philippe und Breguet. Patek Philippe stattet 2005 ihre limitierte Jahreskalenderreferenz 5250 mit einem Siliziumankerrad aus und stellt der Uhrenwelt nicht nur das Material Silizium, sondern auch die mikrotechnologische Herstellung sehr ausführlich vor. 2006 präsentiert Patek Philippe die Referenz 5350 mit Silizium-Ankerrad und »Spiromax«-Unruhspirale.

Mittlerweile gibt es kaum ein Mitglied aus dem exklusiven Kreis der Haute Horlogerie, das nicht bereits neue Modelle vorgestellt hat, in dem Silizium-Teile verbaut sind. Auch Komponenten aus synthetischem Diamant sind immer

häufiger anzutreffen. Vorläufiger Höhepunkt: Die Konzeptuhr »ID One« von Cartier. Um auf Hilfsmittel wie Schrauben, Rubinpaletten beim Anker, Räder oder Regulierungsvorrichtungen verzichten zu können, kommen in dem Werk gleich mehrere innovative Materialien zum Einsatz: Anker, Ankerrad, Unruhreif sowie die zwei Hemmungsbrücken bestehen aus künstlichem Diamant, hergestellt von Diamaze Microtechnology.

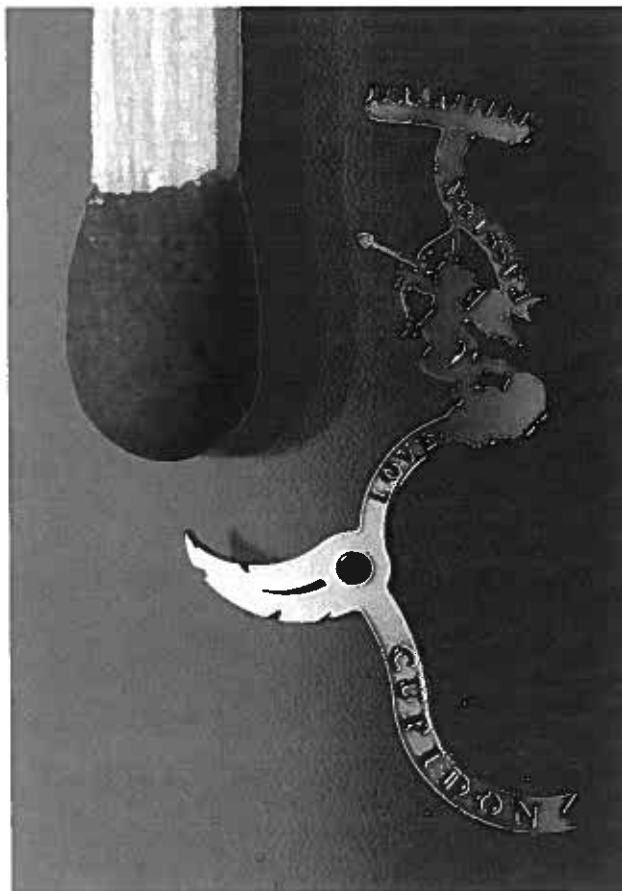
Dort arbeitet man, wie bereits erwähnt, auf Basis des DRIE-Verfahrens, das auf Englisch »deep reactive ion etching« oder im Deutschen »Reaktives Ionentiefenätzen« genannt wird. Dieses Verfahren wird ursprünglich Anfang der 1990er-Jahre bei der Robert Bosch GmbH für Silizium entwickelt und häufig Bosch-Prozess genannt. Dieses ursprüngliche Verfahren wird weiterentwickelt zur heutigen DRIE-Technologie.

Deren Prozess lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Ausgangsmaterial ist ein mehrschichtiger Wafer bestehend aus Silizium, einer Trennschicht und einer Trägerplatte. In einem ersten Schritt wird die oberste Schicht des Wafers mit einem lichtempfindlichen Lack

überzogen, den man anschließend mit der fotografischen Abbildung der zu fabrizierenden Bauteile belichtet. Das heißt, mittels der vorher erstellten Maske, quasi der Vorlage, werden die Umriss der zu fertigenden Teile auf den Wafer übertragen. Nach dem Entwickeln lassen sich die belichteten Bereiche der Lackschicht abwaschen, während die unbelichteten Stellen auf dem Wafer haften bleiben. Dann beginnt der eigentliche Ätzprozess in einem Reaktor, in dem ein Plasma erzeugt wird. Durch mehrere Ätzschritte wird die gewünschte Bearbeitungstiefe erreicht, dazwischen wird eine Art Schutzschicht, die so genannte Passivierungsschicht aufgetragen, die dafür sorgt, dass die Seitenflanken des Ätzgrabens rechtwinklig und glatt ausfallen. Zurück bleiben die fertigen Uhrwerksbauteile.

Der Wafer wird in einem Plasma auf bis zu 1100 Grad erhitzt

Das LiGA-Verfahren blickt auf eine längere Geschichte zurück. Es wird bereits Anfang der 1980-Jahre am damaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe – heute Karlsruher Institut für Technologie – entwickelt, um extrem kleine Teile herstellen zu können. Das Verfahren ermöglicht die Herstellung von Mikrostrukturen aus verschiedenen Kunststoffen und Metallen. Der Prozess beginnt mit dem Aufbringen einer bis zu einem Millimeter starken röntgen- oder UV-Lichtempfindlichen Schicht auf eine Grundplatte mit elektrisch leitender Deckschicht. Mittels Belichtung werden die Formen der herzustellenden Teile auf diese Schicht übertragen und die belichteten Bereiche mit einem geeigneten Entwickler herausgelöst. Danach bleibt die Negativform für eine Metallstruktur stehen, die in der Galvanik aufgebaut wird. In diesem galvanischen Verfahren wird schließlich ein Metall auf die Negativform abgeschieden und so das herzustellende Teil aufgebaut, das nach weiteren Arbeitsschritten wie Ätzen oder Herausschneiden ausgelöst werden kann und nun für seine Aufgabe zur Verfügung steht: Als Repräsentant einer neuen Technologie in einem Uhrwerk.



Komplexes Uhrwerksteil von Mimotec:
Das LiGA-Verfahren erlaubt die Fertigung hochkomplexer, winzig kleiner Einzelteile.

TEXT: Iris Wimmer-Olbort
FOTOS: Hersteller