

# Erstes CVD Diamantzahnrad in der Hemmung eines Uhrwerkes

A. Flöter; P. Gluche

Zur Baseler Schmuck- und Uhrenmesse „Baselworld“ kam der Schweizer Nobeluhrenhersteller Ulysse Nardin mit einer Weltneuheit auf den Markt, dem ersten Zahnrad aus reinem CVD Diamant in einer Uhr. Ausschlaggebend waren neben dem werthaltigen Aussehen aber auch technische Vorzüge des Materials Diamant wie geringe Trägheit, sehr gute Reibeigenschaften und hohe mechanische Stabilität. Allerdings stellt die Herstellung solcher mikromechanischer Bauteile aufgrund der Härte des Materials Diamant besondere Anforderungen an das Bearbeitungsverfahren.

Mikromechanische Bauteile aus Diamant zu fertigen, hat aufgrund der herausragenden Eigenschaften dieses Materials eine Reihe von Vorteilen. So sind solche Bau-

teile aufgrund des hohen Elastizitätsmoduls von Diamant auch bei hohen Belastungen formstabiler als z.B. Teile gleicher Geometrie aus metallischen Werkstoffen oder Silizium. Darüber hinaus besitzt Diamant einen sehr geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Dies führt dazu, dass thermisch belastete Teile in einem weiten Temperaturbereich nahezu formstabil bleiben. Dies kann beispielsweise bei Spiralfedern vorteilhaft genutzt werden. Ferner weist Diamant eine hohe mechanische Bruchspannung auf, so dass auch filigrane Bauteilgeometrien noch hohen mechanischen Belastungen standhalten können.

In Kombination mit dem geringen spezifischen Gewicht von Diamant führt die hohe Belastbarkeit zu Bauteilen, die im Vergleich zu anderen Materialien sehr leicht und deshalb auch weniger träge sind. Dies ist insbesondere bei Beschleunigungsprozessen oder Prozessen mit hoher Drehzahl von Vorteil. Zudem resultiert der geringe Reibungskoeffizient von Diamant in geringeren Reibverlusten

und dadurch einem höheren Wirkungsgrad. Dies kann vorteilhaft dazu genutzt werden, dass die Uhr weniger oft aufgezogen werden muss oder dass die Schwingfrequenz und damit die Genauigkeit der Uhr erhöht werden kann. Darüber hinaus kann häufig auf eine zusätzliche Schmierung der Teile verzichtet werden, was zu einer Verringerung des Wartungsaufwandes führt.

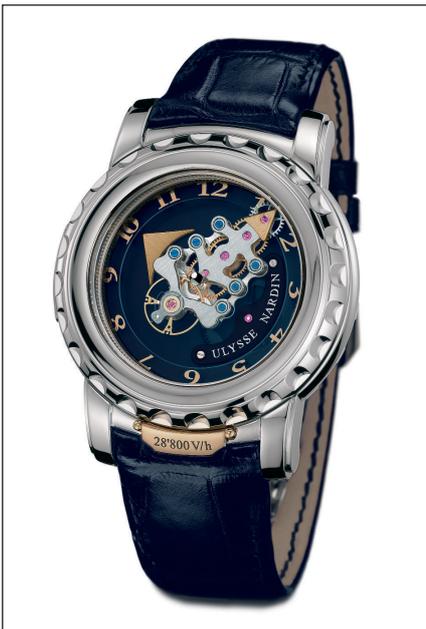
Von besonderer Wichtigkeit sind natürlich auch die herausragende Härte von Diamant, mit der der Verschleiß von Bauteilen in der Regel deutlich reduziert werden kann sowie seine chemische Inertheit. Außerdem können Bauteile aus Diamant von transparent bis nicht transparent hergestellt werden.

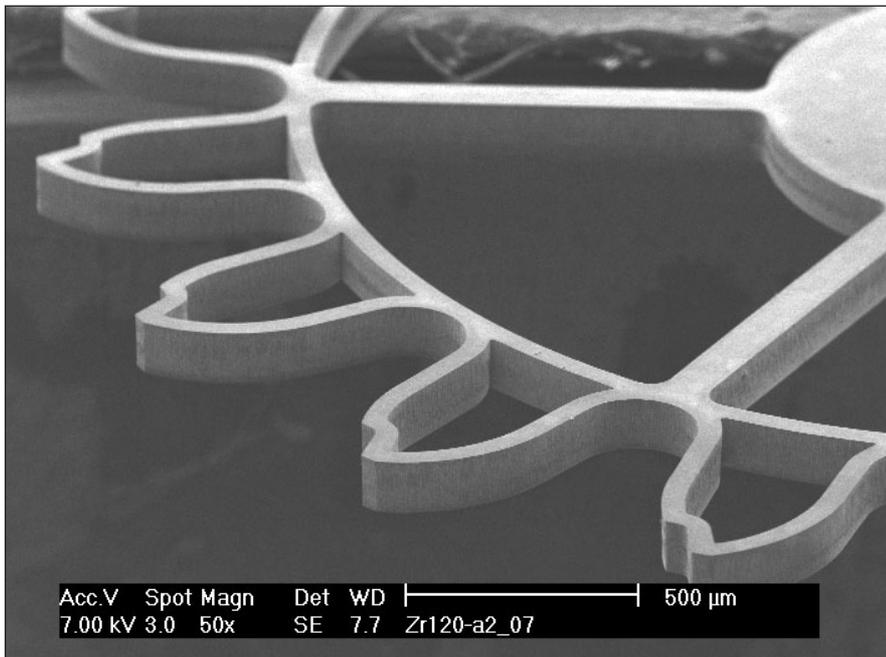
Diese Merkmale und natürlich auch das hohe werthaltige Aussehen von Diamant, haben den im schweizerischen Le Locle ansässigen Nobeluhrenhersteller Ulysse Nardin dazu bewogen, Diamantzahnräder weltweit erstmalig in ein hochwertiges mechanisches Uhrwerk einzubauen, das anlässlich der Baseler Schmuckmesse „Baselworld“ vom 31. März bis 7. April 2005 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde.

## Mechanische Uhren auf dem höchsten technischen Niveau

Das nach seinem Gründer Ulysse Nardin, einem bekannten Uhrmacher, benannte Unternehmen wurde 1846 ins Leben gerufen und hat sich in seiner nunmehr fast 160-jährigen Geschichte der Herstellung hochkomplizierter Uhren gewidmet und sich damit weltweit einen exzellenten Ruf erworben. Von den jährlich etwa 10.000 produzierten Uhren geht der überwiegende Teil in den asiatischen Raum sowie in die USA. Aufgrund der hohen Qualität der Uhren und den zahlreichen mechanischen Innovationen hat das Unternehmen etliche internationale Auszeichnungen erhalten. Auch heute noch liegt die Philosophie von Ulysse Nardin in der Entwicklung und Herstellung „spezieller“ Uhren (Bild 1) auf dem höchsten technischen Niveau.

1 Nach Aussagen von Fachleuten war die Uhr „Freak“ mit völlig neu gestaltetem Uhrwerk, welches in die Zeiger integriert wurde, einer der Höhepunkte von Ulysse Nardin





2 REM-Aufnahme eines CVD Diamantzahnrades für die Hemmung einer Uhr

So machte man sich auch Gedanken die sog. Hemmung, das Herzstück der Uhr, in der sich die anspruchvollsten Bauteile des Uhrwerkes befinden, zu verbessern. Bei der Hemmung handelt es sich um eine Vorrichtung zwischen Laufwerk und Gangregler, die den freien Ablauf des Werks hemmt und mit Hilfe des Gangreglers dosiert erfolgen lässt. Das sich hier befindliche Zahnrad stellt höchste Anforderungen an die Trägheit so-

wie die Reibeigenschaften und die mechanische Stabilität des verwendeten Materials, um einerseits eine hohe Genauigkeit der Uhr wie andererseits auch deren Langlebigkeit zu gewährleisten. Deshalb entschied man sich, für die Hemmung ein Zahnrad aus reinem, synthetisch hergestelltem Diamant zu entwickeln. Mit seiner geringen Trägheit, den herausragenden Reibeigenschaften und seiner hohen mechanischen Stabilität kommt Dia-

mant den gestellten Anforderungen am nächsten. Hinzu kommt natürlich auch das werthaltige Aussehen eines Diamantzahnrades.

Daraufhin entwarf Ulysse Nardin ein 0,15 mm starkes Zahnrad mit einem Außenkreisdurchmesser von 4,6 mm, das 18 Zähne mit einer Zahnhöhe von ca. 0,5 mm aufwies (Bild 2). Um aber ein solches Zahnrad tatsächlich auch zu fertigen, kommen konventionelle Zerspanungsverfahren nicht in Frage. Neben der hohen Härte des Materials Diamant zeigt die komplexe Geometrie der mikromechanischen Bauteile mit Maßtoleranzen im Bereich weniger Mikrometer diesen Verfahren ihre Grenzen auf.

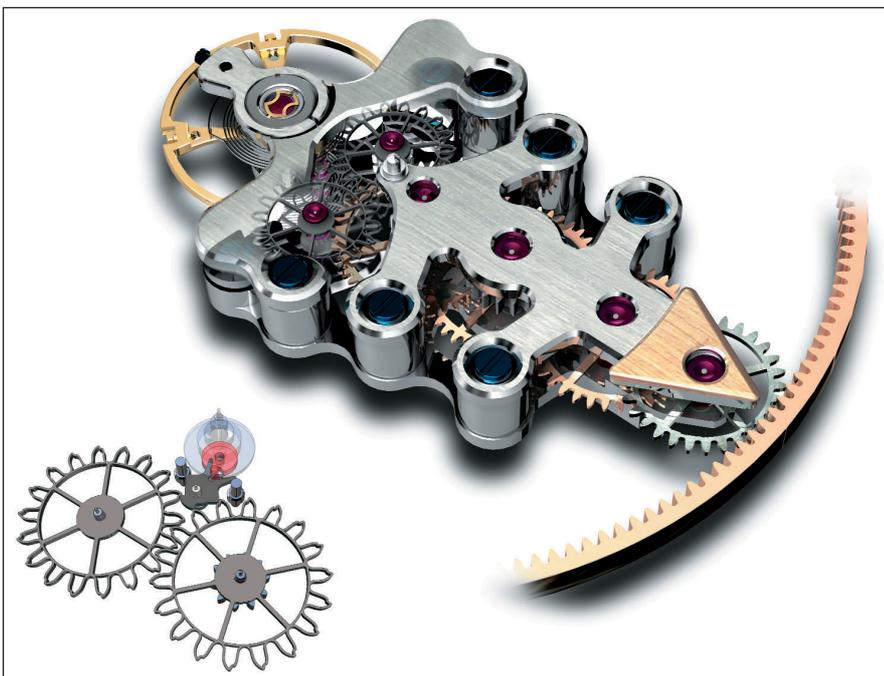
Erst mit einem Plasmaätzverfahren, wie es von der GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm, schon zum Schärfen von Diamantklingen erfolgreich eingesetzt wurde, wird die Bearbeitung der Diamantzahnrad möglich.

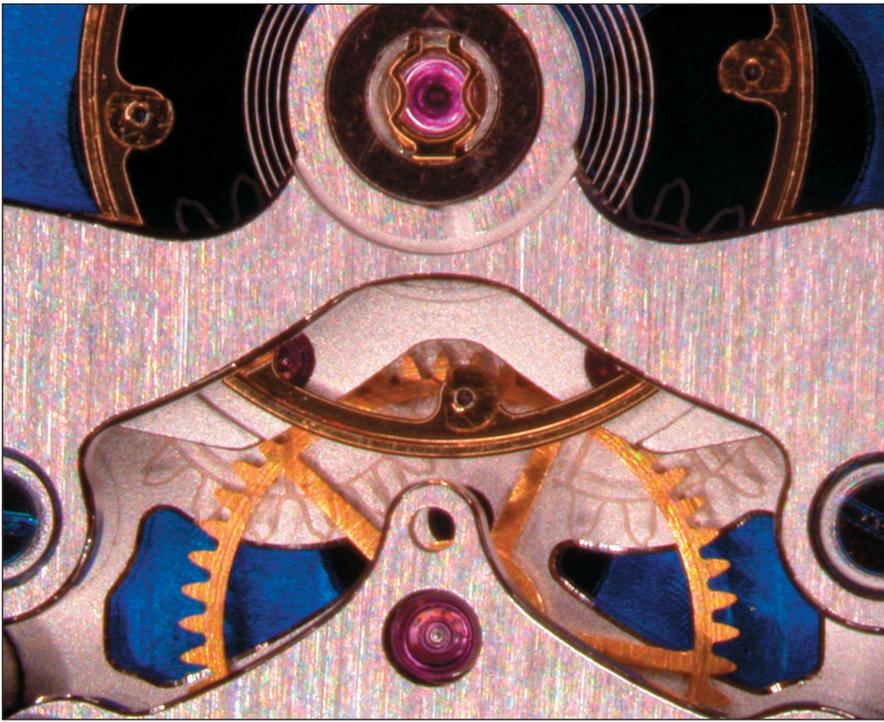
#### GFD hat eine Technologie zur Präzisionsbearbeitung von Diamant entwickelt

Dieses Verfahren erlaubt die Herstellung von Bauteilen komplexer und planarer Geometrie mit Maßtoleranzen im Bereich weniger Mikrometer. Der Hochtechnologie-Prozess arbeitet kraftfrei und nicht spanend, so dass es möglich ist, auch kleinste Abmessungen und komplexeste Formen reproduzierbar und mit geringen Maßtoleranzen herzustellen. Dabei ist die Geometrie der Diamantbauteile durch die neuartige Herstellungsmethode in der Ebene weitgehend frei wählbar und wird am Beispiel des beschriebenen Diamantzahnrades erläutert.

Ausgangsmaterial für das Diamantzahnrad ist eine CVD Diamantplatte. Das Material wird anschließend in eine, speziell nach der Bauteilgeometrie angefertigten Schablone gelegt und in einer dafür konstruierten Plasmaätzanlage positioniert. Hier wird das überschüssige Material, das nicht von der Schablone abgedeckt ist, in zwei Schritten unter Anwendung unterschiedlicher Prozessgase weggeätzt. Während der erste Schritt ver-

3 Die Teilansicht eines Uhrwerkes mit Diamantheimung





4 Das CVD Diamantzahnrad im Uhrwerk

gleichbar mit dem Schrappen bei Zerspanungsprozessen ist, handelt es sich beim zweiten Schritt um einen Glättvorgang, mit dem letztendlich die geforderten Maß- und Formtoleranzen sowie die erforderlichen Oberflächengüten erzielt werden. Im Fall von Ulysse Nardin waren Maßtoleranzen von  $\pm 3 \mu\text{m}$  gefordert, die prozesssicher und reproduzierbar eingehalten werden konnten. Alle Seitenflanken wiesen eine sehr geringe Winkelabweichung von weniger als  $1^\circ$  aus der Senkrechten auf. Die Ober-

flächenrauheit der Seitenflanken betrug weniger als  $1 \mu\text{m}$ , so dass Reibungsverluste minimiert werden konnten. Zudem sind die Flächen optisch spiegelnd.

#### Weitere mikromechanische Bauteile aus CVD Diamant stehen vor der Umsetzung

Das Verfahren beschränkt sich aber nicht auf die Herstellung solcher Zahnräder. Es sind eine Vielzahl geometrischer Formen in

Mikrogrößen möglich. So wird im Augenblick beispielsweise an einer CVD Diamantspiralfeder, ebenfalls für ein Uhrwerk, gearbeitet. Zudem sind eine Reihe weiterer komplexer Bauteile für verschiedenste Industriebereiche denkbar, die in der Vergangenheit vor allem durch die fehlenden Möglichkeit, solche Bauteile in hoher Qualität reproduzierbar zu fertigen, nicht umgesetzt werden konnten.

Im Augenblick ist die Geometrie der zu fertigenden Bauteile bei dem Plasmaätzverfahren lediglich durch die beiden planparallelen Grundflächen und eine Bauteilstärke von minimal  $10 \mu\text{m}$  bis derzeit maximal  $150 \mu\text{m}$  limitiert. Die Größe des Bauteils sollte in einem virtuellen rechteckigen Rahmen von maximal  $2 \text{ cm}$  Kantenlänge bzw. Durchmesser Platz finden. Ebenso sollten Strukturgrößen unterhalb von  $5 \mu\text{m}$  Abmessung vermieden werden.

**Bildnachweis:** Bild 1 und 3 Ulysse Nardin, Le Locle, Schweiz; Bild 2 und 4 GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm.

Dr. Andre Flöter und Dr. Peter Gluche sind Geschäftsführer der GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm.