

Potenzial und Hemmnisse eines industriellen Einsatzes metallischer Gläser in der Uhrenindustrie

Andreas Blatter

©2011 Dr. Andreas Blatter

Anforderungen der Uhrenindustrie

Marketing

Kommunikation
Assoziation

Ästhetik

Perfektion
Inspiration

Technik

Innovation
Funktionalität

Wie reihen sich metallische Massivgläser ein?

Innovationsvorteil, aber nur für kurze Zeit

Fehlende visuelle Unterscheidbarkeit von andern Metallen

Leistungsgewinn dank besseren Eigenschaften bzw. kleineren Teilen

©2011 Dr. Andreas Blatter

Vorteilhafte Eigenschaften

metallischer Massivgläser für Anwendungen im Uhrenbereich

- Hohe Festigkeit kratzfeste Teile, Kleinteile
- Formgebung neue Formen, Kleinteile
- Elastizität Federelemente, Dichtungen
- Geringe Dämpfung Resonatoren, Membrane

©2011 Dr. Andreas Blatter

Metallische Massivgläser in der Uhrenindustrie

Anwendungsbeispiele

- Gehäuse
- Triebfeder
- Spiralfeder
- Musikwerk

Patentsituation

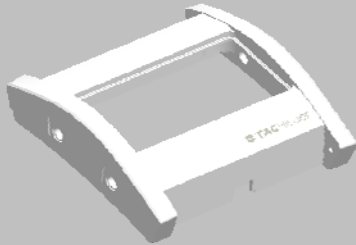
Zusammenfassung



©2011 Dr. Andreas Blatter

Microtimer F1 (Tag Heuer)

- LM1 Legierung
- Spritzguss

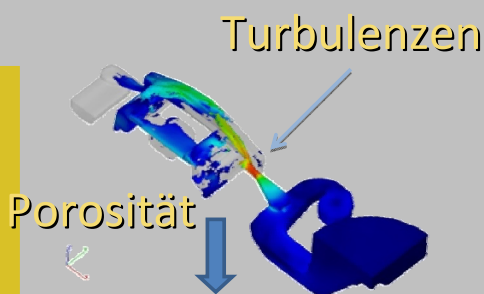


Fazit

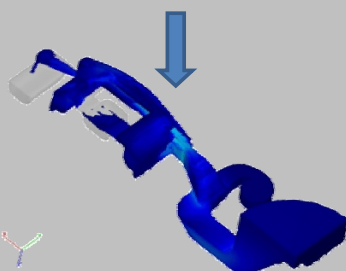
Die Qualitätsanforderungen wurden nicht erreicht und das Modell kam nie auf den Markt

©2011 Dr. Andreas Blatter

Prozessfehler Spritzguss



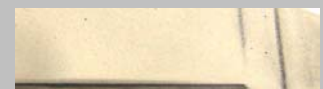
Nach redesign für laminares Fließen



Gasporen



Mit reinerem Material



Fließlinien

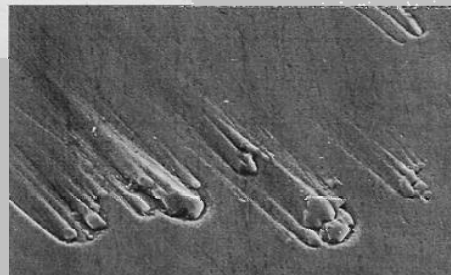
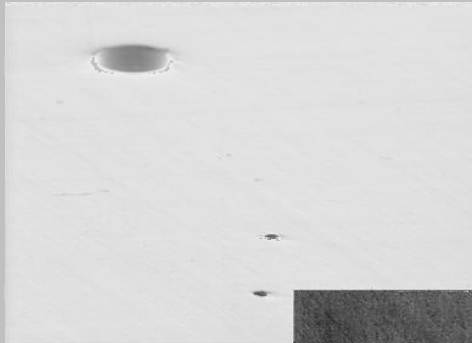
Mit verbesserter Oberfläche der Gussform



©2011 Dr. Andreas Blatter

Polierfehler

Theorie der amorphe Zustand ermöglicht eine perfekte, spiegelglatte Politur



Praxis
Polierfehler wegen

- Poren
- ZrO_2 Einschlüssen

Weitere Probleme

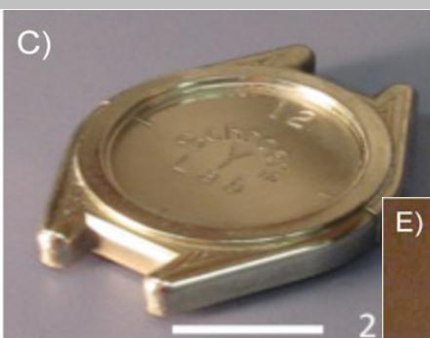
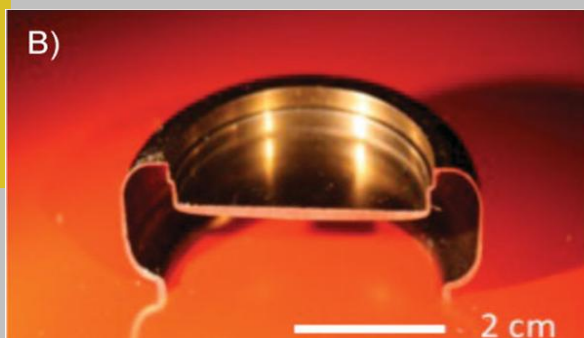
- Anlaufen (Oxydation)
- Fingerabdrücke

©2011 Dr. Andreas Blatter

Massivgläser besser einsetzen

Ausnützen der spezifischen Eigenschaften zur Erzeugung neuer Funktionen und Formen

- z.B. hohle Gehäuse mittels blow molding
- z.B. für Metall – Keramik Verbindungen



Jan Schroers, Yale University

©2011 Dr. Andreas Blatter

Omega Seamaster

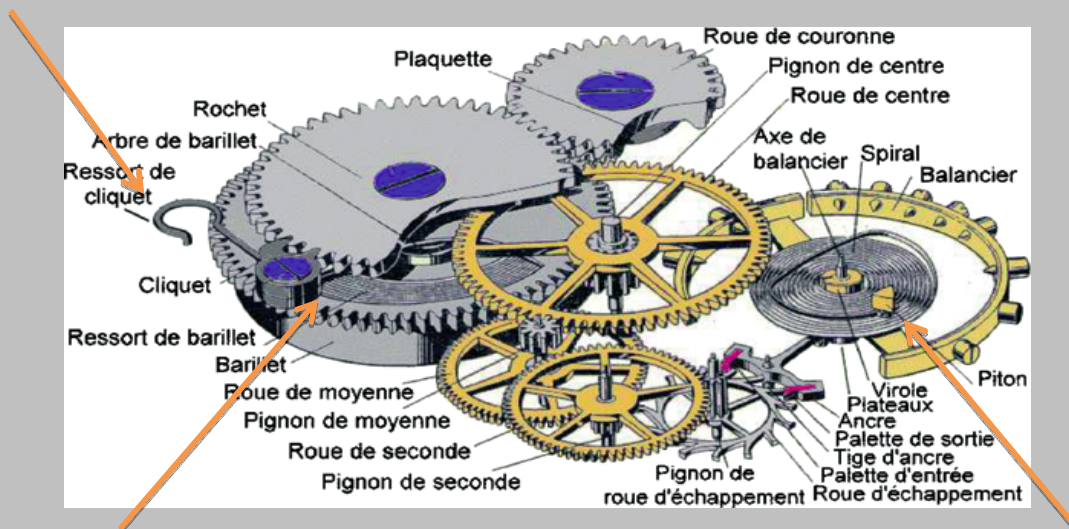
Lunette aus Keramik mit Ziffern aus metallischem Glas

Der Glanzzustand ermöglicht das thermoplastische Einpressen und Anschmiegen des Metalls an die Keramik



Metallische Massivgläser für Federn

Klinkenfeder

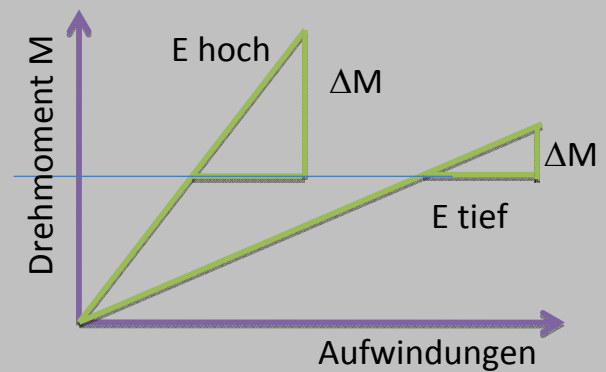


Triebfeder
(200 – 600 mm lang,
0.05 – 0.2mm dick, 0.35 – 1 mm breit)

Spiralfeder
(Unruhfeder)

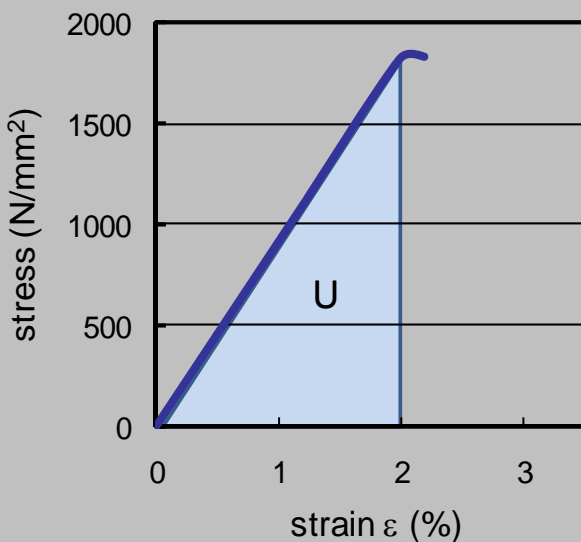
Anforderungen an eine Triebfeder

- Hohes Arbeitsspeichervermögen
- Konstantes Drehmoment über lange Zeit (Abwinden)
- Kerbunempfindlichkeit / hohe Wechselfestigkeit
- Geringe Neigung zum Kriechen
- Gute Korrosionsbeständigkeit



©2011 Dr. Andreas Blatter

Speicherkapazität



$$U \propto \frac{V_{spring}}{6} \sigma_y \cdot \epsilon_{el} \approx \frac{V_{spring}}{6} \frac{\sigma_y^2}{E}$$

$$U \propto E \cdot \epsilon_{el}^2$$

Abschätzung:

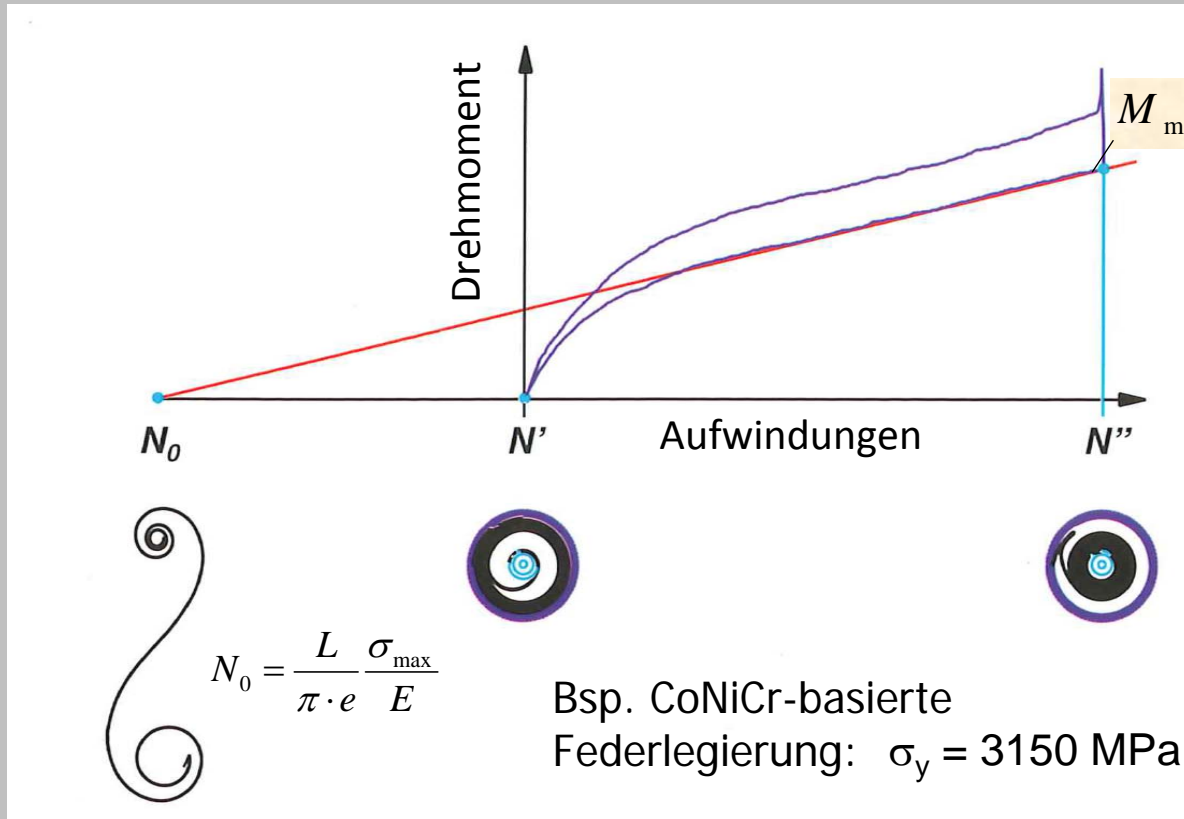
$$E_{MG} \approx (0.8-0.9) E_{krist}$$

$$\epsilon_{el_MG} \approx (3-4) \epsilon_{el_krist}$$

$$\curvearrowright U_{MG} \approx (7-14) U_{krist}$$

©2011 Dr. Andreas Blatter

Reales Kraft-Weg Diagramm



©2011 Dr. Andreas Blatter

Konkurrenz Hochleistungswerkstoffe

Voll texturiert
 Ausscheidungsgehärtet
 Optimierte Federform

$\sigma_y = 3150 \text{ MPa}, E \approx 210 \text{ GPa}$

$\sigma_y^2/E > 47$

MG: $\sigma_y = 1900 \text{ MPa}, E \approx 100 \text{ GPa}$

$\sigma_y^2/E = 36$

Materialdaten aus der Literatur ermöglichen keinen Leistungsvergleich

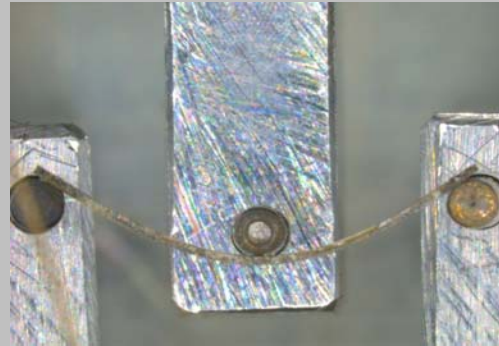
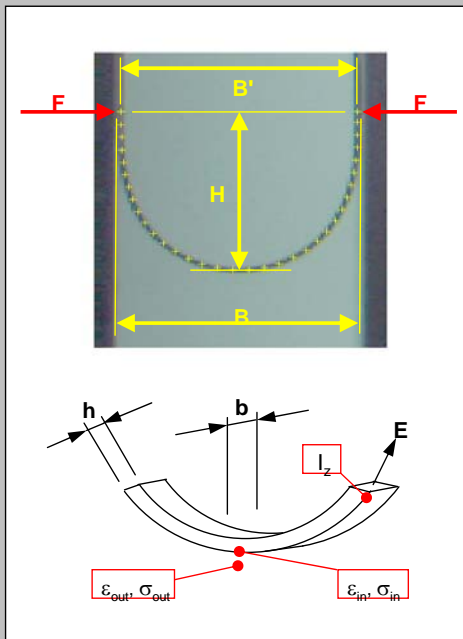
- Nichtlineares Verhalten ($\sigma_{y_real} = 1.5 \sigma_{y_theorie}$ im Federhaus)
- Arbeitsrückgewinnung $U_{real} = 2.7 U_{theorie}$

©2011 Dr. Andreas Blatter

Messung: Balken 100 μ m x 40 μ m x 15mm

2-Pkt Biegung

3-Pkt Biegung



Resultate im Vergleich

Method	E [GPa]	σ_{\max} [MPa]
Nanoindentation	110	
3-point bending	125	2400-2900
2-point bending	120-130	2400-2700
Literatur	≤ 100	1700 - 1900

$$\sigma_y^2/E = 67$$

Spiralfeder und Isochronismus

Genauigkeit hängt von der Schwingungsfrequenz f der Unruh ab.

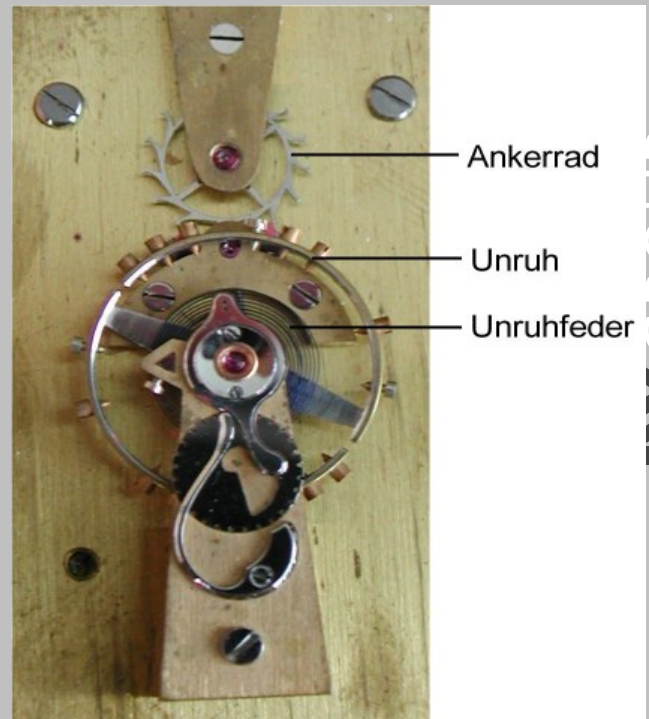
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{I}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Ehe^3}{12mr^2l}} \approx 5\text{Hz}$$

I : Trägheitsmoment

M : Drehmoment

$$\Delta T \rightarrow \Delta f$$

$\frac{3}{4} \Delta f$ wegen thermischen und magnetischen Aenderungen der Spiralfeder



©2011 Dr. Andreas Blatter

Materialanforderung Spiralfeder

Bedingung für Isochronismus

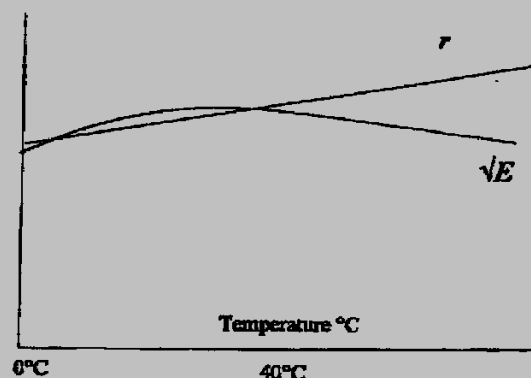
$$\frac{r}{\sqrt{E}} = const$$

$$\frac{dr}{dT} > 0 \Rightarrow \frac{dE}{dT} > 0$$

Anormales Verhalten

Nobelpreis Physik 1920: Charles-Edouard Guillaume

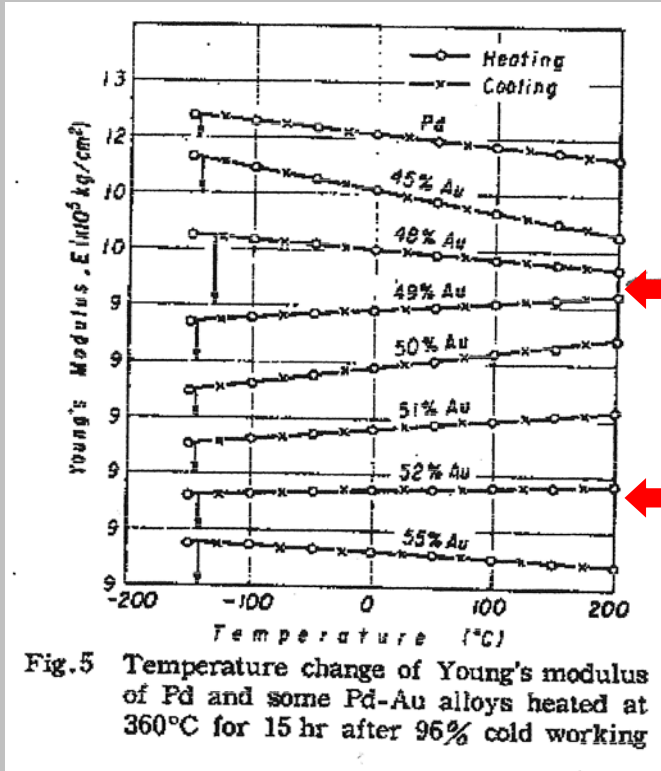
Thermokompensation (Elinvar: FeNi Legierungen):
Einfluss der Temperatur und Magnetostriktion auf E kompensieren sich



Beste Qualität: $\pm 0.3 \text{ s}/(\text{K Tag})$

©2011 Dr. Andreas Blatter

Ideale Lösung



$$\frac{dr}{dT} = \frac{dE}{dT} = 0$$

Einige Nb- und Pd-Legierungen

Potenzial metallische Gläser

Legierungen mit $dE/dT = 0$?

Bsp. PdSi, ist aber nicht massiv

Hochpräzise 3D Formen

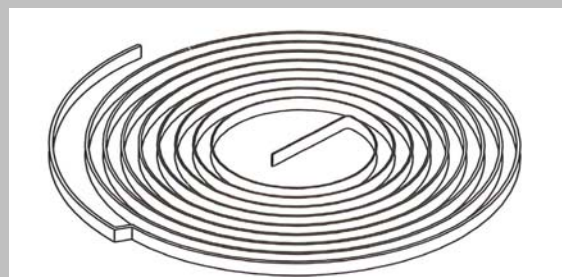


fig. 7-30

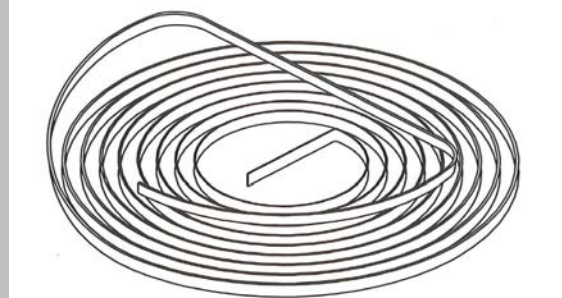


fig. 7-31

Metallische Massivgläser im Musikwerk

- Klang = Grundton und (partielle) Obertöne
- Viele Obertöne = voller Klang
- Hoher Q-Faktor (wenig Dämpfung) = anhaltender Klang, besserer Klirrfaktor

Alu :	schlechter Q-Faktor
Ti monokrist:	Q OK, teuer
Quarz :	besten Q-Faktor, Monofrequenz
Met. Glas :	hoher Q-Faktor, breitbandig

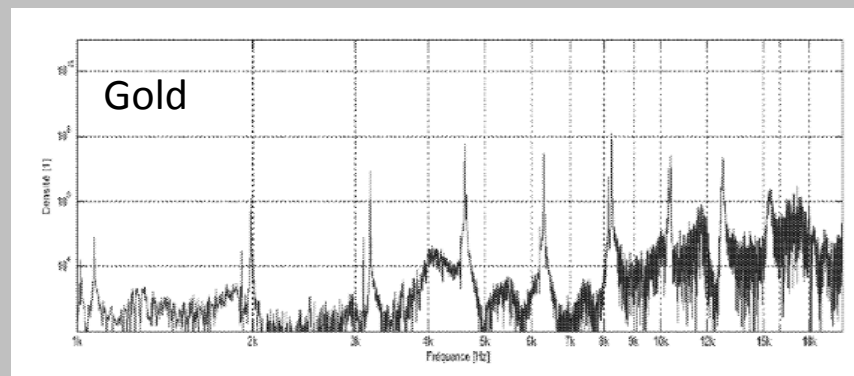
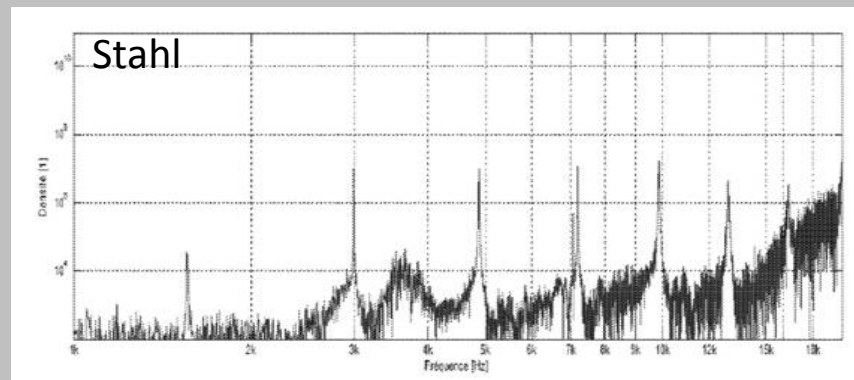
©2011 Dr. Andreas Blatter

Spektrale Dichte

Obertöne η

$$\eta \propto \frac{1}{v} = \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Bester Klang:
Metallisches
Edelmetall
Glas



©2011 Dr. Andreas Blatter

Breguet: Le Réveil Musical



Membran in metallischem Glas als Resonatorboden

- Zur « Verstärkung » und Ausbildung des Klangs
- Als Dichtung

©2011 Dr. Andreas Blatter

DXGROUP

Patente

- Legierungen (Liquidmetal, Tohoku Uni)

US 7,412,848 B2

- Einsatz Edelmetall-basierter metallischer Massivgläser im Schmuckbereich (Liquidmetal)

Die Swatch Group und das US-Unternehmen Liquidmetal haben ein exklusives Lizenzabkommen für den weltweiten Einsatz von Legierungen in der Uhrenproduktion unterzeichnet.

©2011 Dr. Andreas Blatter

DXGROUP

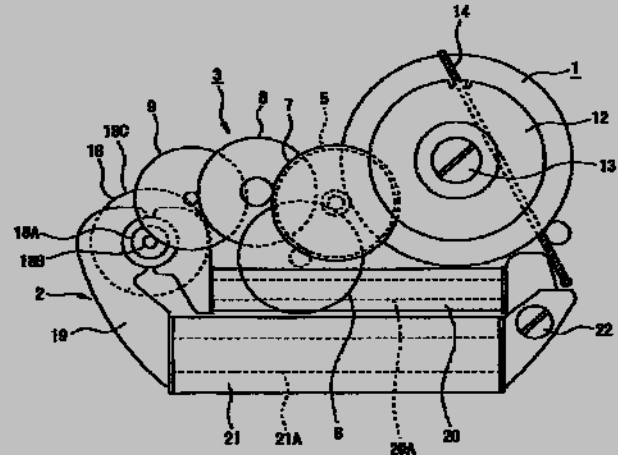
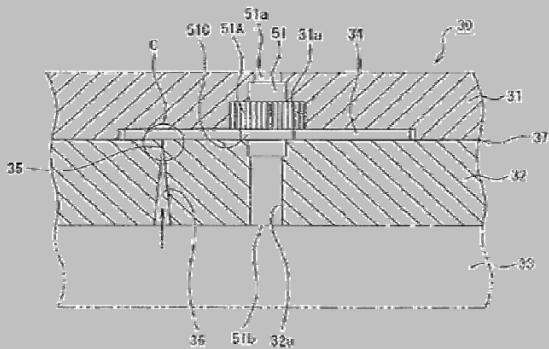
Patente : Räderwerk

SEIKO

US 2009/0196125 A1

WRISTWATCH GEAR AND METHOD FOR MANUFACTURING WRISTWATCH GEAR

PRECISION GEAR, ITS GEAR MECHANISM AND PRODUCTION METHOD OF PRECISION GEAR



©2011 Dr. Andreas Blatter

DXGROUP

Patente : Uhrenfeder

SEIKO US 6,843,594 B1

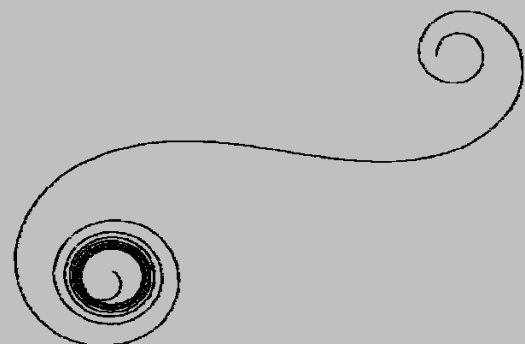
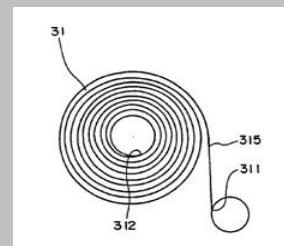
SPRING, POWER SPRING, HAIR SPRING, DRIVING MECHANISM UTILIZING THEM, AND TIMEPIECE

Rolex (WO2010/000081):

Method for shaping a barrel spring made Of metallic glass

Swatch Elastic unit e.g. spiral spring, fabricating method for watch, CH699334 (A2)

Swatch Method of manufacturing a spring from an amorphous Metal EP2153922 (A1)



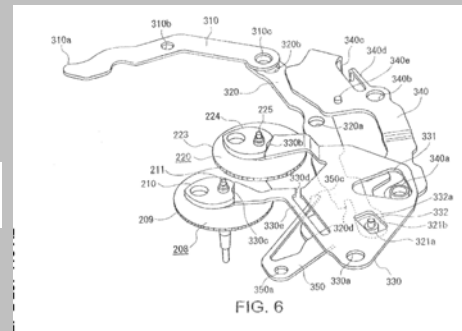
©2011 Dr. Andreas Blatter

DXGROUP

Patente: andere

Seiko: Timepiece.... at least one of the striking member or the struck member being made of a metallic glass alloy (resetting member)

EP 2 237 116 A2



DECORATIVE ITEM PRODUCED BY INLAYING WO2010006887

Three-dimensional decoration method **CH699993**

Timbre pour une sonnerie ou alarme d'une montre

EP 2 107 437 A2

Pressure sensor having a membrane comprising an amorphous material EP2113759 (A1)

METHOD OF MAKING A BOTTOM PLATE
FOR A WATCH CH 699 783

©2011 Dr. Andreas Blatter

Potenzial massiver Metallgläser in der Uhrenindustrie

- 😊 Formgebung ermöglicht neue Formen und Aesthetik
- 😊 Formgebung und erhöhte (Verschleiss-) Festigkeit ermöglichen kleinere Teile und damit mehr Funktionen im begrenzten Volumen der Uhr
- 😊 die ausgeprägte Elastizität verspricht verbesserte Leistung gewisser Funktionen
- 😞 Konkurrenz durch optimierte Hochleistungswerkstoffe und Fertigungsverfahren
- 😞 Wirtschaftlichkeit (teure Materialien, teure Prozesse)
- 😞 Patentsituation
- 😞 Ungenügende Versorgungssicherheit und fehlende Fertigungstechnologien – da sind aber rasante Fortschritte zu verzeichnen

©2011 Dr. Andreas Blatter