

Magnetic 6D Direct Drive Mag6D

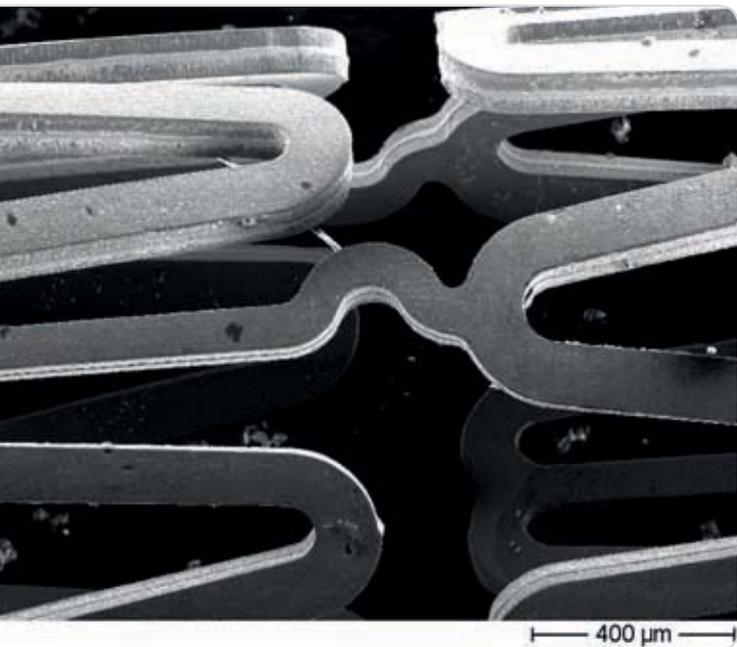


Figure 1: Stent Structure. Source: LLT

How can one make a finite mass body float magnetically stable? This is being worked on worldwide. What works in the macroscopic world, e.g. for a magnetic suspension train drive, shall also be used for highly precise moving and positioning of objects, e.g. in semiconductor production. In processes like wafer structuring and wafer inspection, by now air-guided positioning systems are preferred. For applications though, that make working in vacuum or additional positioning variance necessary,

magnetically driven systems are a real alternative, e. g. also in microscopy as well as in Life Science and Biotech applications. This technology can be used to produce very small structures – like those needed for stents (see fig. 1).

For 15 years, IMMS has been developing drive solutions for air-guided precision systems with driving areas of 20 x 20 up to 400 x 400 mm². They are mostly used in machines for laser structuring with applications in precision technology, medicine technology and laser dicing of wafers. In 2011, a new magnetic-driven 6D direct drive system has been developed in our institute (see fig. 2). It is based on the structure of an IMMS air-guided planar direct drive (fig. 3).

The Challenge

According to the Earnshaw theorem, a static magnetic field can not steadily balance objects. This has been proved by Samuel Earnshaw in 1842. For a magnet in a magnetic field, this means that it always moves straight towards another magnet causing the field.

But since we know floating magnets on superconductors, even floating graphite slices on magnetic arrays from various "toy applications" – may be Earnshaw was not right after all? Certainly not, but his theorem is only valid for macroscopic,

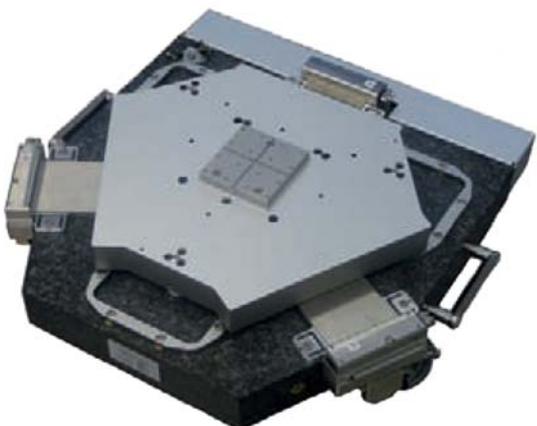


Figure 2: Mag6D Direct Drive, Source: IMMS/PI/TUI 2011



Figure 3: Air-guided 3D Direct Drive, Driving Area 400 x 400 mm², Source: IMMS 2009

static fields. This approach does neither describe quantum-mechanical effects nor dynamic fields. So there are a lot of opportunities to steadily float magnets.

Actively Controlled Floating Solves the Problem

Many common solutions for planar magnetic guides, as in the example in figure 5, use an array of coils and magnets in stator and slider. In a simple way, enlarging the array allows the extension of the driving area or an adaption to the actual payload. But the necessary effort for controlling the inductor array is immense. According to the position of the runner element, every one of the by now 27 coils has to be commutated individually. In addition, none of the common approaches allows to couple a 6D measurement system efficiently to such guides.

Therefore, the researchers at IMMS wanted to find a motor structure that significantly reduces the control effort, at the same time allowing the integration of a high-resolution 6D measurement system.

The prototype of this highly precise driving system is called Mag6D. It makes a slider float solely using magnetic powers and positions it in 6 coordinates. Mag6D is the result of a cooperation of IMMS, the Mechatronics department of the Ilmenau University of Technology and the Physik Instrumente (PI) GmbH. It provides a driving area of 100 x 100 x 0.12 mm³ in translatory coordinates.



Figure 4: Philips Maglev, IMMS 2006

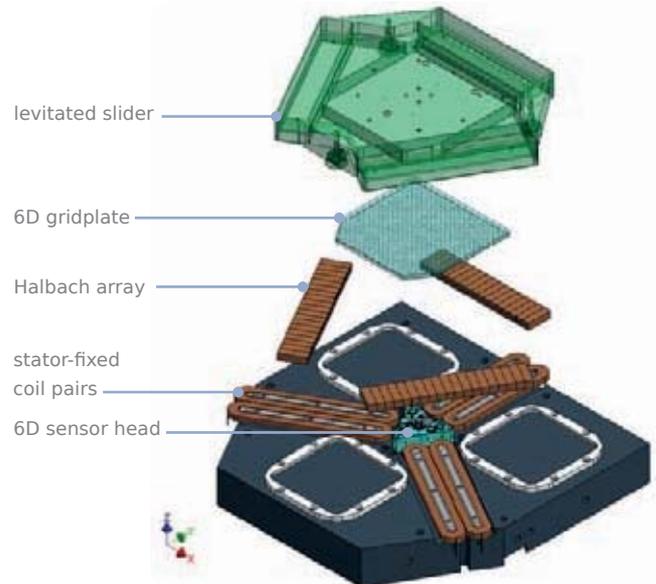


Figure 5: Working Principle of the 6D Positioning System.
Source: IMMS

Only 6 planar motor coils are necessary to carry the slider's weight including a payload of 500g and to move it in 6 freedom degrees. Also, the runner works completely without feed line.

A new, compact integrated sensor head – consisting of optical and capacitive sensor elements – allows positioning and control of the slider in all 6 degrees of freedom.

When positioning on a set point, a standard deviation of < 6 nm is currently measured in the translatory axis, in the tilting axis of < 250 nrad. The system features a very simple structure, a close-to-object integration of a compact 6D sensor system and high efficiency of the actor tempering. Carrying just the load of the runner causes the actor coil temperature to increase by approx. 1 K. Perpectively, this difference is further going to drop. First approaches to impement this technology into a customer's application have started already,

This project was funded by the German Ministry of Economy and Technology (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), code KF-2534501BN9.

Contact:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel
christoph.schaeffel@imms.de

Magnetischer 6D-Direktantrieb Mag6D

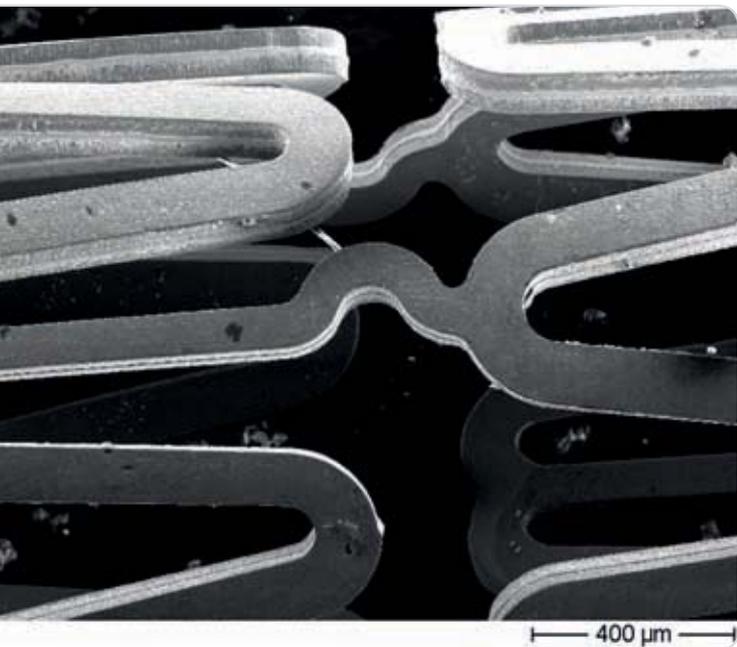


Bild 1: Struktur eines Stents, Quelle: LLT.

Wie kann man es schaffen, einen Körper endlicher Masse magnetisch stabil zum Schweben zu bringen? Daran wird weltweit gearbeitet. Was im Makroskopischen in Form des Antriebes einer Magnetschwebbahn funktioniert, soll auch zum hochpräzisen Bewegen und Positionieren von Objekten zur Anwendung gebracht werden, beispielsweise bei der Halbleiterfertigung. Dort werden bisher in Prozessen, wie Waferstrukturierung und Waferinspektion, bevorzugt luftgeführte Positioniersysteme

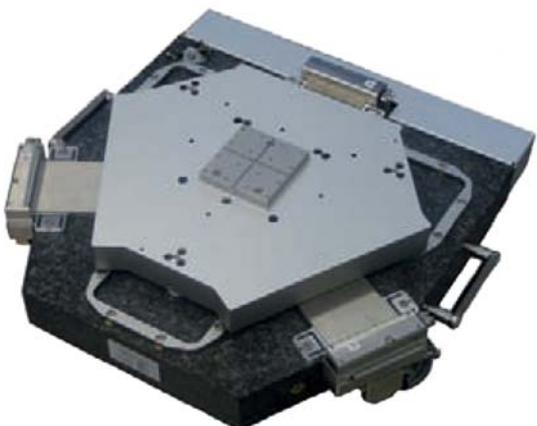


Bild 2: Mag6D-Direktantrieb; Quelle: IMMS/PI/TUI 2011

eingesetzt. Für Applikationen jedoch, die einen Einsatz im Vakuum oder zusätzliche Positionierfreiheitsgrade erfordern, sind magnetisch geführte Systeme eine echte Alternative, wie z.B. auch in der Mikroskopie sowie im „Life Science“- und „Biotech“-Sektor. So lassen sich mit dieser Technologie feinste Strukturen wie die von Stents herstellen (Bild 1).

Das IMMS entwickelt seit 15 Jahren Antriebslösungen für luftgeführte Präzisionssysteme mit Fahrbereichen von 20x20 bis 400x400 mm². Anwendung finden diese vorrangig in Maschinen zur Laserstrukturierung u.a. für die Präzisionstechnik, die Medizintechnik und beim Laserdicing von Wafern. Am Institut wurde 2011 ein neuartiges, magnetisch geführtes 6D-Direktantriebssystem entwickelt (Bild 2), das auf der Grundstruktur eines luftgeführten planaren Direktantriebes des IMMS aufbaut (Bild 3).

Die Herausforderung

Das Earnshaw-Theorem besagt, dass ein statisches Magnetfeld nicht in der Lage ist, Objekte in einem stabilen Gleichgewicht zu halten. Es wurde von Samuel Earnshaw 1842 bewiesen. Für einen Magneten in einem Magnetfeld bedeutet dies, dass er sich stets schnurstracks auf einen anderen Magneten zu bewegt, der das Feld bewirkt.



Bild 3: Luftgeführter 3D-Direktantrieb, Fahrbereich 400x400 mm²; Quelle: IMMS 2009

Jedoch kennen wir schwebende Magneten auf Supraleitern oder sogar schwebende Graphitscheiben auf Magnetarrays aus einer Reihe von „Spielzeugapplikationen“ – hatte Earnshaw Unrecht? Keineswegs, allerdings gilt sein Theorem nur für makroskopische, statische Felder. Quantenmechanische Effekte oder dynamische Felder beschreibt der Ansatz nicht. So gibt es doch eine Reihe von Möglichkeiten, Magneten stabil zum Schweben zu bringen.

Aktiv geregeltes Schweben löst das Problem

Eine Vielzahl der bekannten Lösungen für planare magnetische Führungen, wie das Beispiel auf Abbildung 4, nutzt ein Array aus Spulen und Magneten im Stator und Läufer. Die Vergrößerung des Arrays ermöglicht auf einfache Weise die Erweiterung des Fahrbereiches oder eine Anpassung an die zu tragende Nutzlast. Jedoch ist der Aufwand zur Ansteuerung des Spulenarrays erheblich. Je nach Position des Läuferelementes muss jede der bislang mindestens 27 Spulen individuell kommutiert werden. Zudem ist es mit keinem der bekannten Ansätze möglich, ein 6D-Messsystem effektiv an solche Führungen zu koppeln.

Ziel des IMMS war es daher, eine Motorstruktur zu finden, die den Ansteuerungsaufwand deutlich reduziert und gleichzeitig die Integration eines hochauflösenden 6D-Messsystems ermöglicht. Der Prototyp des hochpräzisen Antriebssystems heißt Mag6D. Er bringt einen Läufer allein durch magnetische Kräfte zum Schweben und positioniert diesen in 6 Koordinaten. Mag6D ist das Ergebnis eines Verbundvorhabens des IMMS mit der TU Ilmenau, Fachgebiet Mechatronik und der Physik Instrumen-

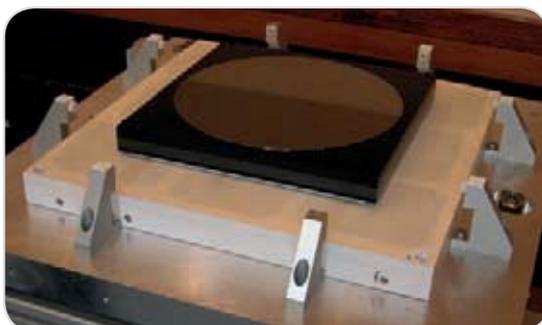


Bild 4: Philipps Maglev; Quelle: IMMS 2006

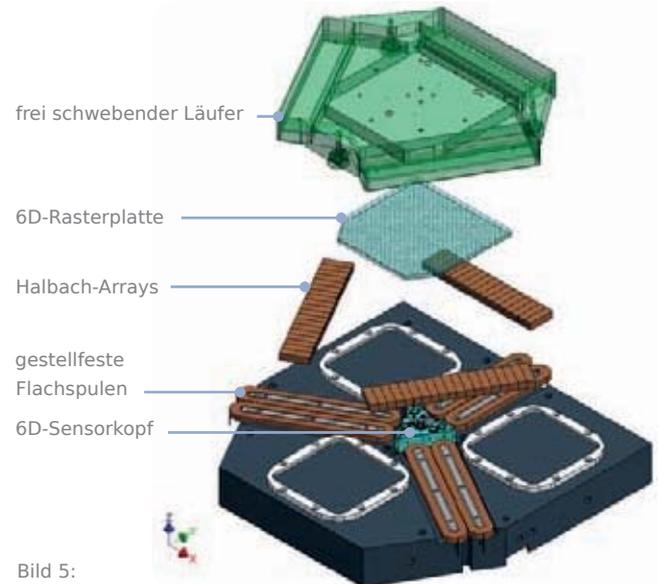


Bild 5:
Prinzip des 6D-Positioniersystems; Quelle: IMMS

te (PI) GmbH und realisiert einen Fahrbereich von $100 \times 100 \times 0,12 \text{ mm}^3$ in den translatorischen Koordinaten. Zum Tragen des Läufergewichts inklusive einer Nutzlast von 500g und zur Bewegung in allen 6 Freiheitsgraden werden nur 6 planare Motorspulen benötigt. Der Läufer arbeitet dabei vollkommen ohne Zuleitung. Ein neuartiger kompakter integrierter Sensorkopf, bestehend aus optischen und kapazitiven Sensorelementen, gestattet die Positionserfassung und Regelung des Läufers in allen 6 Freiheitsgraden. Bei Positionierung auf einen Punkt wird aktuell in den translatorischen Achsen eine Standardabweichung von $< 6 \text{ nm}$ und in den Kippachsen von $< 250 \text{ nrad}$ erreicht.

Das System zeichnet sich durch eine äußerst einfache Struktur, die objektnahe Integration eines kompakten 6D-Sensorsystems sowie eine hohe Effizienz der Aktortemperaturierung aus. Das magnetische Tragen des Läufergewichts führt zu einer Erhöhung der Aktorspulentemperatur von nur ca. 1 K. Perspektivisch wird diese Differenz weiter sinken. Erste Arbeiten zur Einführung der Technologie in eine Kundenapplikation haben bereits begonnen.

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter dem Kennzeichen KF-2534501BN9 gefördert.

Kontakt:

Dr.-Ing. Christoph Schäffel
christoph.schaeffel@imms.de