

RoMulus –

Tool for efficient design
of 3D MEMS acceleration sensors

Work on the design tool developed by IMMS for the automated design and largely automated layout of multidimensional acceleration sensors. Photograph: IMMS.

Objectives and overview

Although in the field of microelectronics a highly automated, computer-aided design procedure has long been used in the design of integrated circuits, there has to date been no commensurately adequate methodology or design software for silicon-based micromechanical components. Among the many uses of MEMS (the acronym stands for microelectromechanical systems) are inkjet printer head control, microphones, sensors for the gyroscope in smartphones and acceleration and RPM sensors. Indeed, they are the source of all the measurements taken in modern cars to support safety systems (e.g. to regulate driving dynamics, or to serve TPMS, tyre pressure monitoring systems). Having been used for the first time in a mass product in 1994 when Bosch produced integrated pressure sensors, they have had a short history to date but their use has grown rapidly and consistently over several years, particularly under the impetus of the automotive industry. Development cycles are getting shorter and shorter, which, because it increases competitive pressure on sensor development, also puts pressure on development costs.

More on
RoMulus at
www.imms.de

Annual Report

© IMMS 2018

Present MEMS design tools are laid out for simulation and require much manual input

105

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Contents
- * Funding

It has only been for something more than 10 years that software tools have been available so that MEMS design and simulation could use library elements. The tools are not adequate to test how far the designs are feasible with available technology. They also lack layout elements which might ensure efficiency in the layout process. It is possible, admittedly, to calculate manufacturing tolerances using the tools but the calculations do not lead to optimised design. Nonetheless, to design MEMS, it is necessary to know which topologies are feasible to fabricate. And, moreover, optimisation functions make a great deal of sense in such a tool as there are many individual sensor parameters, often affecting more than one parameter in the specification – but these have not so far been implemented, either.

IMMS tool provides MEMS designs already automatically optimised and cognisant of technological specifications

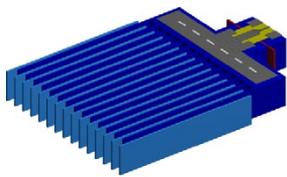
This has led to IMMS developing further the design tool from the MEMS2015 project for 1-dimensional acceleration sensors to achieve for multi-dimensional acceleration sensors a tool for automated sensor design and largely automated layout design. First, the original tool was laid out for use in house to design 3-dimensional acceleration sensors which would extend the functionality of TPMS (tyre-pressure-monitoring systems).

*More on
MEMS2015 at
www.imms.de*

TPMS are one of the growth drivers in the market for MEMS. They already contain not only pressure sensors and RFID but also a one-dimensional acceleration sensor. This last ensures that it is only when the tyre is rotating that values are measured and transmitted by RFID. The effect is to extend the battery life of the TPMS. In contrast, 3-dimensional acceleration sensors enable the forces to be measured which are generated by changes in speed and direction, so that data can be obtained on the driving dynamics. An acceleration sensor of this kind measures all translatory degrees of freedom, even for instance the lateral acceleration affecting the tyres.

The tool developed at IMMS will provide automatic design for such 3D acceleration sensors to accord with customer specifications. At the core of the tool is a two-stage design strategy enabling technological tolerances to be observed and optimal sensor

Annual Report
© IMMS 2018



Silicon dioxide
Silicon
Trench
Aluminium

Figure 1:

Comb structure of library element, together with layout element for electrical contact.

Diagram: IMMS.

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Contents
- * Funding

design achieved so that a minimum of space is used for the sensor. Higher-order library elements are another feature of the new tool. Besides the function and design elements they contain layout elements which greatly help in automation of subsidiary steps in the layout process. The manual work is then only needed for the wiring.

The IMMS solution in detail

Functioning and basic structure of sensor

All acceleration sensors depend on the same principle – a movable mass suspended on springs is subjected to acceleration. The various different types are distinguished by the way which this displacement is detected. In the XMB10 technology made by X-FAB, the detection is capacitive, in that the distance between a fixed and a movable electrode structure connected to the displaced mass changes. Usually differential comb structures like that shown in Fig 1 are employed.

For multi-dimensional capacitive acceleration sensors, a range of basic structures is in principle a possibility. These structures may be distinguished by number of acceleration components and/or degrees of freedom used in the detection of the movable mass. The criteria for selection of suitable basic structures will be the geometrical area of the sensor and the cross sensitivity between the acceleration components to be measured and both selection criteria must be kept as small as possible. A sensor with three masses, one for each degree of freedom, has low cross-sensitivity but its area is not optimal. On the other hand, a sensor supplied with only one mass is small in area but will have high cross-sensitivity because there is only one spring system for all three degrees of freedom. For the sensor size and the cross-sensitivity parameters, a sensor with two movable masses is the optimum – one for the planar directions of movement (x/y) and one for the z axis relating to them. It is not possible to implement any other basic structures in the technology. For instance, sensors possessing the coupled mass systems to be found in the literature cannot be fabricated with this technology.

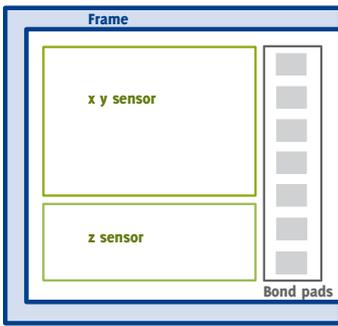


Figure 2: Structure of sensor (schematic diagram). Diagram: IMMS.

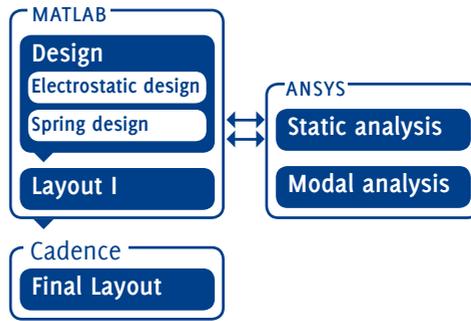


Figure 3: Structure of design and layout process. Diagram: IMMS.

Two-stage design strategy for the IMMS tool

The design process starts with the customer specifications, which define the required parameters: these may be the maximum acceleration to be measured, the sensitivity (changing capacity related to acceleration due to gravity, usually given in fF/g), the non-linearity (maximum deviation of output signal from a reference line in %), resonance frequency and shock resistance, etc. The tool can then generate a sensor with minimum area, in every case following a two-stage design and layout process. The stages serve the purpose of minimising the deviations (which can always arise because of technological tolerances) from the originally specified parameters for the sensor.

Highest tolerances necessary at etching processes

The fabrication process of greatest relevance for the design strategy because of necessary tolerance is the etching of springs and interdigitated structures out of the sensor layer, which may be 15, 30 or 75 μm thick. Ideally the etching would have only a vertical effect, through the thickness. In reality, however, the etching solution attacks the silicon not only in the vertical direction but also sideways. This undercutting alters the width of springs and interdigitated comb fingers and, additionally, the gap between the fingers.

These changes in geometry have two self-contradictory effects – on one hand, if there is a positive undercut, greater displacement of the sensor because of the narrower spring dimension results, and on the other hand there will be a lower change in capacity because of the greater distance between the fingers in the interdigital structures. These contrasting effects can be usefully exploited to reduce to a minimum the influence of manufacturing tolerances in the sensor features.

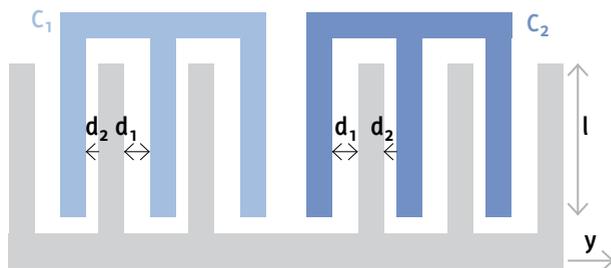


Figure 4:
Differential interdigital
structure (schematic of
principle).

Diagram. IMMS.

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Contents
- * Funding

Design in two stages minimises effect of manufacturing tolerances on sensor features

In a first step the electrostatic parameters are determined – which will probably be the number n , length l and distances (d_1 and d_2) between the fingers in the interdigitated structures and the displacement for the movable mass Δy including the spring constant (assuming a virtual spring), see Figure 4. The second stage is then to optimise the width of the spring so as to minimise tolerance effects and then to compute the length of the spring.

The modelling and simulation methods used for the design were selected on the criteria of computing speed and accuracy of the model. When the capacities are being computed, fringing fields must be taken account of. The tool applies the methodology of conformal mapping for this. Commercially available finite element (FEM) programs, which are controlled from the tool for both modelling and simulation, are used to calculate spring stiffness and eigenfrequency. There are interfaces in the tool for ANSYS and MEMS+.

Example of design and layout

By way of demonstration, the tool was used to create the design and layout of an exemplary 3D acceleration sensor with specifications meeting the requirements of a TPMS. 500g is assumed as maximum acceleration, and further specifications are sensitivity of 0.1fF/g and maximum non-linearity of 1%. The optimisation goal is to achieve the smallest possible sensor area with regard to minimum costs. The following is the specific design flow associated with the demonstrator.

xy sensor unit

The xy sensor unit has differential comb units in x and y symmetrically arranged so that only a little cross-sensitivity results. Meander springs at the corners of the movable mass permit its inplane displacement. The cut-out at the centre of the

Services
for FEM at
www.imms.de.

- Step 1 Max. displacement (determined by nonlinearity)
- Step 2 Finger parameter (determined by step 1 and sensitivity)
- Step 3 Spring parameter (determined by step 1 and step 2)

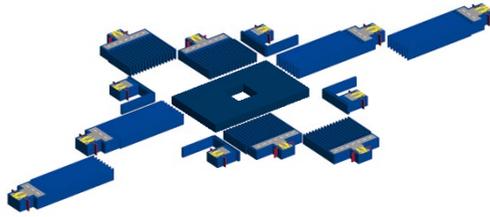


Figure 5: Sensor-specific design flow. Diagram: IMMS.

Figure 6: xy sensor unit (exploded view with library elements). Diagram: IMMS.

109

- > RoMulus:RFID
- > Green-ISAS:Test
- > Green-ISAS:EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus:MEMS
- > Contents
- * Funding

movable mass is an essential element of the layout, serving as seating for stoppers to prevent damage to the sensor from shock events.

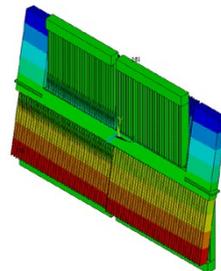
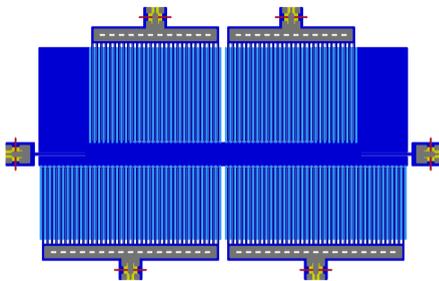
The specification allows a square space for the 3D acceleration sensor, so that both sensor units basically have a rectangular area available. Consequently, the xy sensor unit, requiring the same change of capacity in x and y, must have a different number and length of comb fingers in each direction.

z sensor unit

In the z sensor unit, the movable mass is suspended on torsion springs. Its mass is asymmetrically distributed, so that acceleration causes torsion in the mass and displaces it. This displacement is detected by the recessed fingers.

Layout

Basically, the layout is achieved by creating the "real world" which will surround the functional sensor units and providing wiring, including pads for electrical contact. The first step is carried out by the tool automatically using Boolean algebra while adhering to the design rules. The design process ensures that there are electrical contacts already available as library elements. The wiring that joins the electrical



```
ANSYS 14.0
ELOT NO. 1
NAME: SPLITTER
STEP=1
SER=1
TYPE=1
DE (NO)
RESO=0
PARAM:applies
EFFECTIVE
MAX=-5,27688
MIN=-5,27688
SBC=-5,27688

```

a) z sensor unit

b) static simulation

Figure 7: z sensor unit. Diagram: IMMS.

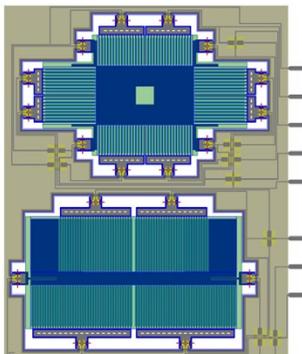


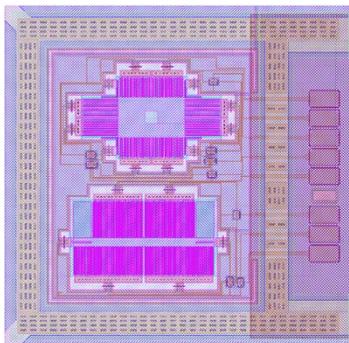
Figure 8:

Sensor layout:

◀ after stage 1

final layout ▶

Diagram: IMMS.



- 110**
- > RoMulus: RFID
 - > Green-ISAS: Test
 - > Green-ISAS: EH
 - > StadtLärm
 - > fast wireless
 - > ADMONT
 - > RoMulus: MEMS
 - > Contents
 - * Funding

contacts and connects them to the pads is carried out manually except where wires cross. The "crossing" layout element is always inserted automatically. In the second step, the X-FAB process design kit is used to add further layout elements specific to the fabrication technology.

Future prospects

Having developed the design tool for multi-axis acceleration sensors, IMMS is now capable of acting as an X-FAB design house, i.e. designing customised sensor systems efficiently for a range of companies requiring such sensors in X-FAB technology. The intention is to apply the methodology used in creating this tool to further types of sensor which lend themselves to fabrication with X-FAB's open technology platforms. Examples are pressure and RPM sensors.

Contact person: Dipl.-Ing. Steffen Michael, steffen.michael@imms.de

*More on
RoMulus at
www.imms.de*

*All RoMulus
publications:
www.imms.de.*

Annual Report

© IMMS 2018

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

The RoMulus project has been supported within the Research Programme ICT 2020 by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under the reference 16ES0362. Only the author is responsible for the content of this publication.



RoMulus –

Tool für den effizienten
Entwurf von dreidimensionalen
MEMS-Beschleunigungssensoren

Arbeiten an dem vom IMMS entwickelten Entwurfswerkzeug für das automatisierte Design und das weitgehend automatisierte Layout von mehrdimensionalen Beschleunigungssensoren. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Dem in der Mikroelektronik schon seit Jahrzehnten hochautomatisierten und rechnergestützten Entwurf von integrierten Schaltungen steht für das Design mikromechanischer Bauelemente auf Siliziumbasis bisher keine adäquate Methodik bzw. Entwurfs-Software gegenüber. Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) steuern beispielsweise Inkjet-Druckköpfe, werden in Smartphones als Mikrofon sowie als Gyroskop-Sensor zur Lageerkennung verwendet und stellen in modernen Autos als Beschleunigungs- und Drehratensensoren die Messdaten für Sicherheitssysteme bereit, wie etwa für Fahrdynamikregelungen, oder werden als Drucksensoren für das Reifendruck-Monitoring (tire-pressure monitoring systems, TPMS) genutzt. MEMS als Massenprodukte haben seit dem ersten in Serie produzierten integrierten Drucksensor von Bosch 1994 zwar eine eher junge Geschichte, weisen jedoch seit mehreren Jahren ein u.a. durch die Automobilindustrie getriebenes dynamisches und anhaltendes Wachstum auf. Immer kürzere Entwicklungszyklen erhöhen den Wettbewerbs- und damit den Kostendruck für MEMS auf Entwicklungsebene.

Mehr zu
RoMulus auf
www.imms.de

Jahresbericht

© IMMS 2018

Vorhandene MEMS-Entwurfs-Tools sind für Simulationen ausgelegt und erfordern viel Handarbeit

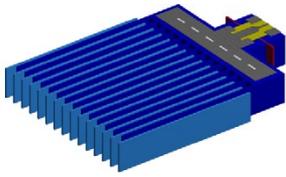
Erst seit etwas mehr als zehn Jahren gibt es Software-Tools, um MEMS mit Bibliothekselementen entwerfen und simulieren zu können. Inwieweit sich diese Entwürfe mit den verfügbaren Technologien realisieren lassen, ist mit den Tools nicht überprüfbar. Zudem haben die Tools keine Layout-Elemente, um den Layout-Prozess effizient halten zu können. Fertigungstoleranzen lassen sich von den Tools zwar berechnen, fließen aber nicht in optimierte Designs ein. Für den MEMS-Entwurf muss man jedoch prozessierbare Topologien kennen. Aufgrund vieler einzelner Sensorparameter, die oft mehrere Spezifikationsparameter beeinflussen, sind darüber hinaus Optimierungsfunktionen in einem solchen Tool sinnvoll, aber bislang nicht implementiert.

IMMS-Tool liefert automatisch optimierte MEMS-Designs und berücksichtigt dabei technologische Voraussetzungen

Das IMMS hat daher auf der Grundlage des im Projekt MEMS2015 erarbeiteten Design-Tools für eindimensionale Beschleunigungssensoren ein Entwurfswerkzeug für das automatisierte Design und das weitgehend automatisierte Layout von mehrdimensionalen Beschleunigungssensoren entwickelt. Das Werkzeug wurde zunächst als Inhouse-Tool zum Entwurf dreidimensionaler Beschleunigungssensoren ausgelegt, mit denen beispielsweise Reifendruck-Monitoring-Systeme (TPMS) um Funktionen erweitert werden.

TPMS stellen einen der Wachstumstreiber am MEMS-Markt dar und enthalten bereits heute neben Drucksensor und RFID-Komponente einen eindimensionalen Beschleunigungssensor. Mit diesem wird sichergestellt, dass nur dann Messdaten erfasst und per RFID übertragen werden, wenn sich der Reifen dreht. So wird die Batteriebensdauer des TPMS verlängert. Mit dreidimensionalen Beschleunigungssensoren werden dagegen die durch Größen- und Richtungsänderungen von Geschwindigkeiten hervorgerufenen g-Kräfte gemessen, um Fahrdynamikdaten zu gewinnen. Diese Sensoren messen alle translatorischen Freiheitsgrade, wie z.B. auch auf den Reifen wirkende Querbeschleunigungen.

Das am IMMS entwickelte Tool generiert ausgehend von der Kundenspezifikation automatisch Designs für solche dreidimensionalen Beschleunigungssensoren. Kernelement des Werkzeugs ist die zweistufige Designstrategie, um Toleranzen berücksichtigen zu können und damit ein optimales Sensordesign bei minimaler



Siliziumdioxid
Silizium
Trench
Aluminium

Abbildung 1:

Bibliothekselement Kammstruktur mit dem Layoutelement elektrischer Kontakt.

Grafik: IMMS.

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Inhalt
- * Förderung

Sensorfläche zu ermöglichen. Die Bibliothekselemente höherer Ordnung sind ein weiteres Merkmal des entwickelten Tools. Diese enthalten neben Funktions- bzw. Designelementen auch Layout-Elemente, um Teilschritte des Layout-Prozesses weitgehend zu automatisieren. Lediglich für die Verdrahtung sind manuelle Bearbeitungen notwendig.

Lösung im Detail

Funktionsweise und Grundstruktur des Sensors

Beschleunigungssensoren basieren alle auf dem gleichen Prinzip – eine an Federstrukturen aufgehängte bewegliche Masse wird durch eine Beschleunigung ausgelenkt. Unterscheiden lassen sich die verschiedenen Typen durch die Art und Weise, wie diese Auslenkung detektiert wird. Das erfolgt bei der XMB10-Technologie von X-FAB kapazitiv, indem sich der Abstand zwischen einer festen und einer beweglichen, mit der ausgelenkten Masse verbundenen Elektrodenstruktur ändert. Im Regelfall kommen differentielle Kammstrukturen wie in Abbildung 1 zum Einsatz.

Bei mehrdimensionalen kapazitiven Beschleunigungssensoren ist prinzipiell eine Vielzahl von Grundstrukturen möglich, die sich z.B. durch die Anzahl der Beschleunigungskomponenten bzw. Freiheitsgrade unterscheiden, die eine bewegte Masse detektiert. Kriterien für die Auswahl geeigneter Grundstrukturen sind dabei die Sensorfläche sowie die wechselseitige Beeinflussung von zu messenden Beschleunigungskomponenten (Querempfindlichkeit), wobei beide Größen möglichst klein sein sollen. Ein Sensor mit drei Massen, je einer pro Freiheitsgrad, hat eine kleine Querempfindlichkeit, aber keine optimale Sensorfläche. Dagegen besitzt ein Sensor mit nur einer Masse eine kleine Sensorfläche, aber auch eine große Querempfindlichkeit aufgrund nur eines Federsystems für alle 3 Freiheitsgrade. Ein Optimum bezüglich der Parameter Sensorgroße und Querempfindlichkeit stellt ein Sensor mit zwei beweglichen Massen dar – je eine für Bewegungsrichtungen in der Ebene (x/y) oder aus ihr heraus (z). Weitere Grundstrukturen können in der Technologie nicht realisiert

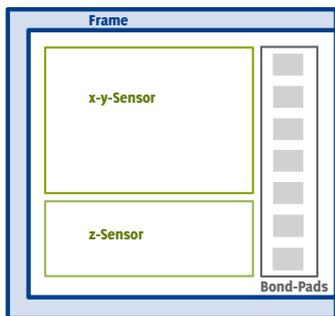


Abbildung 2:
Sensorstruktur (Prinzipiskizze).
Grafik: IMMS.

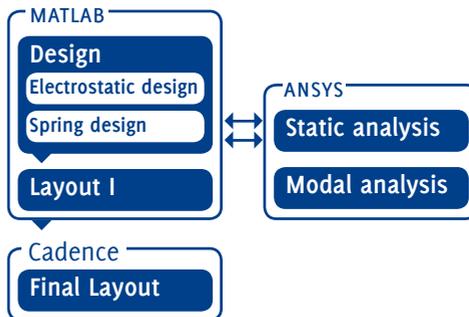


Abbildung 3:
Struktur des Design- und Layoutprozesses.
Grafik: IMMS.

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Inhalt
- * Förderung

werden. Sensoren mit aus der Literatur bekannten gekoppelten Massesystemen lassen sich mit dieser Technologie beispielsweise nicht prozessieren.

Zweistufige Design-Strategie für das IMMS-Tool

Am Anfang des Designprozesses steht die Kundenspezifikation, in der Parameter wie die maximal zu messende Beschleunigung, die Sensitivität (Kapazitätsänderung pro Beschleunigung, typischerweise angegeben in fF/g), Nichtlinearität (maximale Abweichung des Ausgangssignals von einer Referenzgeraden in %), Resonanzfrequenz und Schockfestigkeit etc. definiert werden. Mittels des Tools wird aus der Spezifikation ein Sensor mit minimaler Fläche in einem jeweils zweistufigen Design- und Layoutprozess generiert. Diese Prozess-Stufen dienen dem Ziel, die von Technologietoleranzen immer hervorgerufenen Abweichungen von Spezifikationsparametern für die Sensoren zu minimieren.

Ätzprozesse rufen die größten Fertigungstoleranzen hervor

Der für die Designstrategie relevante toleranzbehaftete Prozess ist das Ätzen der Finger- und Federstrukturen aus der aktiven, wahlweise 15, 30 oder 75 μm dicken Sensorschicht. Idealerweise würde der Ätzprozess nur senkrecht in die Tiefe wirken. In der Realität greift das Ätzmittel jedoch das Silizium nicht nur in der senkrechten, sondern auch der seitlichen Richtung an. Durch diese Unterätzung ändern sich die Breiten von Finger- und Federstrukturen und mithin auch die Abstände zwischen den Fingerstrukturen.

Die Änderung der Geometrieparameter hat zwei gegenläufige Effekte zur Folge – bei einer positiven Unterätzung einerseits eine größere Sensorauslenkung aufgrund der kleineren Federbreite, andererseits eine geringere Kapazitätsänderung aufgrund

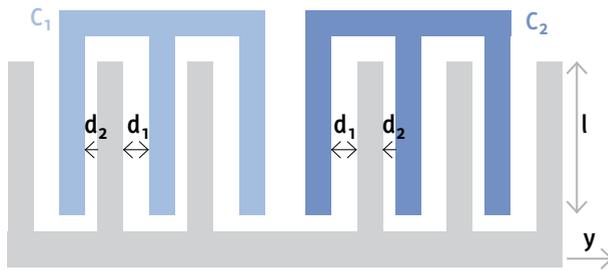


Abbildung 4:

Differentielle Kammstruktur (Prinzipiskizze).

Grafik: IMMS.

- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Inhalt
- * Förderung

des größeren Abstandes zwischen den Fingern der Kammstruktur. Diese gegenläufigen Effekte lassen sich nutzen, um den Einfluss der Prozesstoleranzen auf die Sensorcharakteristik zu minimieren.

Zwei Designstufen minimieren Einfluss der Prozesstoleranzen auf die Sensorcharakteristik

In einem ersten Schritt werden die elektrostatischen Parameter bestimmt, wie Anzahl n , Länge l und Abstände (d_1 und d_2) der Finger der Kammstruktur, und die maximale Auslenkung der bewegten Masse Δy einschließlich der Federkonstante unter Annahme einer virtuellen Feder, vgl. Abbildung 4. Im zweiten Schritt wird die Federbreite für einen minimalen Einfluss der Technologietoleranzen optimiert und nachfolgend die Federlänge berechnet.

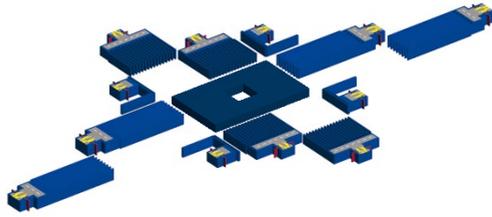
Die für das Design verwendeten Modellierungs- und Simulationsmethoden wurden nach Rechengeschwindigkeit und Modellgenauigkeit ausgewählt. So sind bei der Berechnung der Kapazitäten Streufelder zu berücksichtigen. Im Tool wird hierbei die Methode der konformen Abbildungen verwendet. Federsteifigkeiten und Eigenfrequenzen werden mit kommerziellen Finite-Elemente-Programmen (FEM) berechnet, die für die Modellierung und Simulation über das Tool gesteuert werden. Schnittstellen des Tools existieren für ANSYS und MEMS+.

FEM-Dienstleistungen auf www.imms.de.

Design- und Layout-Beispiel

Für die beispielhafte Demonstration wurden mit dem Tool Design und Layout eines 3D-Beschleunigungssensors erstellt, dessen Spezifikation den Anforderungen eines TPMS entspricht. Als maximale Beschleunigung wird 500g angenommen, weitere Vorgaben sind eine Sensitivität von 0,1fF/g sowie eine maximale Nichtlinearität von 1%. Optimierungsziel ist eine minimale Sensorfläche für minimale Kosten. Aus der Spezifikation leitet sich der folgende, in Abbildung 5 dargestellte spezifische Designflow ab.

- Schritt 1 Maximale Verschiebung (bestimmt durch Nichtlinearität)
- Schritt 2 Finger-Parameter (bestimmt durch Schritt 1 und Sensitivität)
- Schritt 3 Feder-Parameter (bestimmt durch Schritt 1 und Schritt 2)



- 109
- > RoMulus: RFID
 - > Green-ISAS: Test
 - > Green-ISAS: EH
 - > StadtLärm
 - > fast wireless
 - > ADMONT
 - > RoMulus: MEMS
 - > Inhalt
 - * Förderung

Abbildung 5: Sensorspezifischer Design-Flow. Grafik: IMMS.

Abbildung 6: xy-Sensoreinheit (Explosionsansicht mit Bibliothekselementen). Grafik: IMMS.

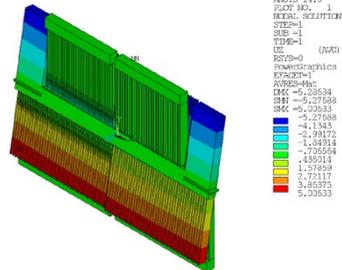
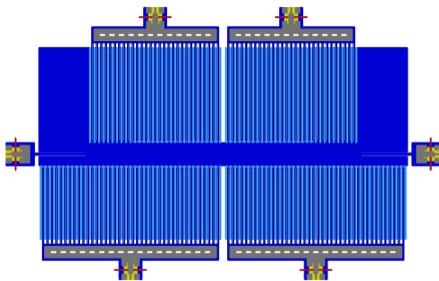
xy-Sensoreinheit

Die xy-Sensoreinheit besitzt symmetrisch angeordnete differentielle Kammstrukturen in x und y, um eine kleine Querempfindlichkeit zu erzielen. Mäanderförmige Federn an den Ecken der beweglichen Masse erlauben eine Auslenkung in der Ebene. Die Aussparung in der Mitte der beweglichen Masse ist ein Layoutelement und dient der Aufnahme von Stopperstrukturen, um eine Beschädigung des Sensors unter Schockeinwirkung zu vermeiden.

In der Spezifikation ist eine quadratische Fläche für den 3D-Beschleunigungssensor vorgegeben, woraus für beide Sensoreinheiten rechteckige Grundflächen resultieren. Für die xy-Sensoreinheit folgt daraus wiederum aufgrund der geforderten gleichen Kapazitätsänderung in x und y eine unterschiedliche Fingeranzahl und -länge in beiden Richtungen.

z-Sensoreinheit

Bei der z-Sensoreinheit ist die bewegliche Masse an Torsionsfedern aufgehängt. Diese weist eine asymmetrische Masseverteilung auf, was bei Beschleunigungen eine Torsionsbewegung der Masse bewirkt. Die Massebewegung wird technologie-spezifisch durch abgedünnte Fingerstrukturen detektiert.



a) z-Sensoreinheit

b) statische Simulation

Abbildung 7: z-Sensoreinheit. Grafik: IMMS.

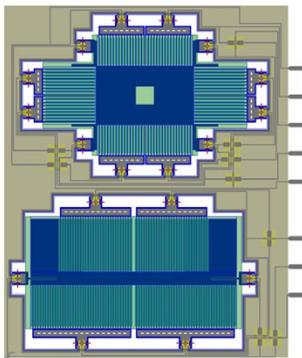


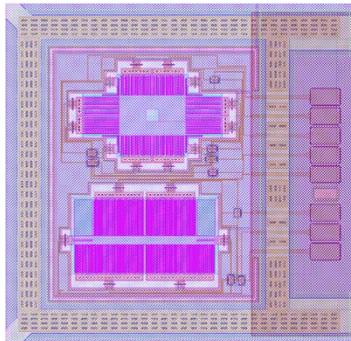
Abbildung 8:

Sensor-Layout:

◀ Nach Phase I

Finales Layout ▶

Grafik: IMMS.



- > RoMulus: RFID
- > Green-ISAS: Test
- > Green-ISAS: EH
- > StadtLärm
- > fast wireless
- > ADMONT
- > RoMulus: MEMS
- > Inhalt
- * Förderung

Layout

Das Layout umfasst im Wesentlichen das Erstellen der die eigentlichen Sensoreinheiten umgebenden „festen Welt“ und die Verdrahtung inklusive Pads für die elektrische Kontaktierung. Im ersten Layout-Schritt wird die „feste Welt“ durch das Tool automatisch generiert mittels Booleschen Operationen unter Einhaltung der Designregeln. Vorhanden sind nach dem Designprozess außerdem bereits elektrische Kontakte, die Bestandteil der Bibliothekselemente sind. Die Verdrahtung der elektrischen Anschlüsse untereinander und mit den Anschluss pads erfolgt bis auf sich kreuzende Leitungen manuell; das Layoutelement „Kreuzung“ wird jeweils automatisch eingefügt. Im zweiten Schritt werden mit dem Process Design Kit von X-FAB zusätzliche technologiespezifische Layoutelemente eingefügt.

Ausblick

Mit der Entwicklung des Entwurfstools für mehrachsige Beschleunigungssensoren ist es dem IMMS derzeit möglich, als X-FAB-Designhaus zu agieren, das heißt für verschiedene Unternehmen kundenspezifische Sensorlösungen effizient zu entwerfen, die in X-FAB-Technologien gefertigt werden sollen. Die dem Tool zugrundeliegende Methodik soll in einem nächsten Schritt auf weitere mit den offenen Technologieplattformen von X-FAB herstellbare Sensortypen angewandt werden, wie z.B. Drehraten- und Drucksensoren.

Kontakt: Dipl.-Ing. Steffen Michael, steffen.michael@imms.de

*Mehr zu
RoMulus auf
www.imms.de*

*Alle RoMulus-
Publikationen:
www.imms.de.*

GEFÖRDERT VOM



Das Projekt RoMulus wurde unter dem Förderkennzeichen 16ES0362 im Förderprogramm IKT 2020 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.