

Vorhabenbeschreibung

(gemeinsamer Teil

und spezieller Teil der Forschungsgesellschaft für
Feingeräte-, Mikro- und Uhrentechnik e.V.)

zum Verbundvorhaben

"Einsatz der Mikromechanik zur Herstellung
frequenzanaloger Sensoren"

geplante Laufzeit: 1.7.1989 bis 30.6.1992

Verbundpartner: (1) Bizerba-Werke, Balingen
(2) Bosch GmbH, Stuttgart
(3) Moto Meter AG, Leonberg
(4) Gebr. Staiger, St. Georgen
(5) Forschungsgesellschaft für Feingeräte-,
Mikro- und Uhrentechnik e.V.

Antragsteller: Forschungsgesellschaft für Feingeräte-,
Mikro- und Uhrentechnik e.V., Stuttgart

Forschungsstelle: Forschungsinstitut der Forschungs-
gesellschaft für Feingeräte-, Mikro-
und Uhrentechnik e.V., Abteilung
Mikrotechnik, Stuttgart und Villingen-
Schwenningen

Wissenschaftlicher Leiter der Abteilung
Mikrotechnik:

Dr.rer.nat. Stephanus Büttgenbach

Projektleiter:

Dipl.-Phys. Hans-Joachim Wagner

Gesamtziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung der Technologie zur Herstellung miniaturisierter Sensoren mit frequenzanalogem Ausgangssignal auf der Basis mechanischer Resonatoren aus Quarz und Silizium.

Bei Sensoren mit Frequenzausgang entfällt eine sonst notwendige Analog-Digital- bzw. Spannungs-Frequenz-Wandlung und die damit verbundenen Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit, der Kosten und der Ansprechzeiten. Durch die Miniaturisierung mit Hilfe mikromechanischer Technologien eröffnet sich die Möglichkeit zur Integration der Resonanzsensoren mit einer mikroelektronischen Informationsverarbeitung zu einem Mikrosystem.

Das Vorhaben gliedert sich in folgende Problemkreise:

- (1) Erarbeitung der Technologie zur Herstellung miniaturisierter Resonatoren aus Quarz und Silizium.
- (2) Entwicklung von Technologien zur Integration miniaturisierter Resonatoren mit einer elektronischen Informationsverarbeitung.
- (3) Untersuchung der Eignung der mikromechanischen Resonatoren als frequenzanaloge Sensoren, z.B. für die Größen
 - Kraft,
 - Druck,
 - Feuchte. (?)

Stand von Forschung und Technik

Bedeutung frequenzanaloger Sensoren

Moderne Meß- und Regelsysteme sind infolge der raschen Entwicklung der Mikroelektronik in zunehmendem Maße digitale Systeme. Für das weitere Vordringen solcher Systeme ist die Verfügbarkeit von Sensoren mit digitalem oder frequenzanalogem Ausgangssignal von entscheidender Bedeutung.

Für den Einsatz in analogen Meß- und Regelsystemen wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl von Sensoren zur Erfassung des Istwertes physikalischer und chemischer Größen entwickelt, deren Ausgangssignal ein analoges elektrisches Signal ist, z.B. eine Spannung oder ein Strom. Diese Sensoren sind nicht unmittelbar für den Einsatz in digitalen Systemen geeignet, sondern ihr analoges Ausgangssignal muß zunächst in ein digitales Signal umgewandelt werden. Digitale Signale können wesentlich stör-sicherer übertragen werden als analoge Signale; daher sollte die Digitalisierung möglichst in unmittelbarer Nähe der Meßstelle erfolgen. Dies kann durch Integration von Sensorelement und Analog-Digital-Wandler in monolithischer oder hybrider Technik realisiert werden.

Neben Sensoren mit direkter Analog-Digital-Wandlung spielen auch Sensoren mit Frequenzausgang eine wichtige Rolle [1]. Die Umwandlung des analogen elektrischen Sensorsignals in ein Frequenzsignal kann z.B. dadurch erfolgen, daß das Sensorelement frequenzbestimmendes Schaltelement eines elektrischen Oszillators ist.

Eine andere Möglichkeit, ein frequenzanaloges Sensorsignal zu erzeugen, bieten mechanische schwingungsfähige Strukturen, deren Resonanzfrequenz empfindlich von der zu messenden Größe abhängt [2]. Solche Sensoren liefern direkt ein frequenzanaloges Ausgangssignal, so daß eine Analog-Digital- bzw. Spannungs-Frequenz-Wandlung und die damit verbundenen Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit, der Kosten und der Ansprechzeiten entfallen.

Die für digitale Meß- und Regelsysteme benötigten Sensoren müssen auch hinsichtlich der geometrischen Abmessungen und des Preises der Mikroelektronik angepaßt sein und mit dieser räumlich zu einer Funktionseinheit integriert werden können. Zur Herstellung bieten sich daher die Miniaturisierungstechnologien der Mikromechanik an. Besonders einfach lassen sich mikromechanische Resonatoren über die Piezoelektrizität anregen, obwohl Anregung und Abtastung der Schwingung auch anders, z.B. elektrostatisch oder elektromagnetisch, erfolgen kann [3].

Werkstoffe für mikromechanische Resonatoren

Einkristalliner Quarz spielt als Werkstoff für mikromechanische Resonatoren eine sehr wichtige Rolle, da er als nichtzentrosymmetrischer Kristall piezoelektrisch ist. Aufgrund der hochentwickelten Verfahrenstechniken der Siliziumtechnologie und aufgrund seiner hervorragenden mechanischen Eigenschaften spielt auch Silizium als Werkstoff für mikromechanische Resonatoren eine wichtige Rolle. Silizium ist als zentrosymmetrischer Kristall nicht piezoelektrisch, so daß zur Anregung von Schwingungen eine piezoelektrische Schicht (z.B. ZnO) aufgebracht werden muß.

Sensoreffekte für Resonanzsensoren

Grundstrukturen für miniaturisierte Resonanzsensoren aus Quarz und Silizium sind Membranen, Zungen, Stimmgabeln, Doppelstimmgabeln. (DETF)

Die Frequenz minaturisierter Resonanzsensoren kann durch folgende Einflüsse verändert werden:

1. Temperaturänderung.

Durch die thermische Ausdehnung ändern sich die geometrischen Abmessungen und die Dichte der schwingenden Struktur. Auch die elastischen Konstanten sind temperaturabhängig. Außer zur Temperaturmessung kann dieser Effekt über die Erwärmung bei Absorption von Strahlung zum Nachweis von

Infrarotstrahlung oder über die Temperaturabsenkung infolge des Wärmeentzugs durch ein strömendes Medium zur Messung von Gasströmungsgeschwindigkeiten genutzt werden.

Aufgrund der Anisotropie des Quarzkristalls ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz von der Temperatur eine Funktion der Orientierung der Quarzscheibe bezüglich der Kristallachsen. Durch geeignete Wahl des Kristallschnitts läßt sich daher einerseits die Kennlinie eines Temperatursensors optimieren, andererseits kann bei Quarzsensoren für die Messung anderer Größen der Temperatureinfluß in einem bestimmten Temperaturbereich minimiert werden.

2. Einwirkung einer äußeren Kraft.

Es lassen sich Kräfte und Drücke, mit Hilfe einer seismischen Masse auch Beschleunigungen und durch Ausnutzung unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten von Sensorstruktur und einem Substratmaterial auch die Temperatur messen.

3. Massenbelegung bzw. mitschwingende Grenzschicht.

Eine zusätzliche mitschwingende Masse ändert das Trägheitsmoment und damit die Resonanzfrequenz. Dieser Effekt hat bereits etablierte Anwendungen bei der Mikrowägung und der Schichtdickenmessung gefunden, er kann jedoch auch zur Messung der Dichte von Gasen und über selektiv adsorbierende Schichten zur Messung von Gaskonzentrationen und der relativen Feuchte eingesetzt werden. Die relative Feuchte kann auch nach dem Taupunktverfahren bestimmt werden; dabei wird der Einfluß geringster Taumengen auf die Resonanzfrequenz nachgewiesen.

Fertigungsverfahren

In den 70er Jahren entwickelte STAUDTE [4] einen Batchprozeß zur Herstellung von Quarzstimmgabeln für den Einsatz in Quarzuhren, der sowohl eine starke Miniaturisierung wie auch eine Rationali-

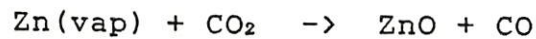
sierung und Kostenreduktion bewirkte. Diese Technologie nutzt die Verfahren der Fotolithographie und der anisotropen Ätztechnik zur Massenproduktion von Quarzresonatoren aus dünnen polierten Quarzscheiben. Als naßchemische Ätzmittel können Lösungen von Flußsäure oder Ammoniumbifluorid benutzt werden. In diesen Lösungen ist der Ätzvorgang stark anisotrop, wobei die Ätzrate in Richtung der z-Achse (optische Achse) maximal ist. Auch Plasmaätzen mit einem Tetrafluormethan-Sauerstoff-Gemisch ist ein mögliches Verfahren zum anisotropen Ätzen von Quarz. Als Maske für den anisotropen Ätzvorgang und gleichzeitig als Elektrodenmaterial dient eine Goldschicht, die ebenfalls fotolithographisch strukturiert wird. Diese Prozesse sollen im Rahmen des Verbundvorhabens für die Herstellung von Resonanzsensoren aus Quarz, die i.a. komplexere Strukturen aufweisen als Uhrenstimmgabeln, adaptiert werden. Da über die Anisotropie der unterschiedlichen Ätzprozesse in Quarz nur sehr wenig bekannt ist, sind dazu zunächst auch grundlegende technologische Untersuchungen und Entwicklungen erforderlich.

Die Silizium-Mikromechanik nutzt die aus der Mikroelektronik bekannten Verfahren der Halbleitertechnologie und entwickelt sie weiter zur Herstellung dreidimensionaler Mikrostrukturen mit Funktionen, die über die Funktionen der integrierten Schaltungen hinausgehen. Ein besonders wichtiges Verfahren ist dabei die selektive, anisotrope Ätztechnik, die die Abhängigkeit der Ätzgeschwindigkeiten sowohl von der Kristallrichtung wie auch von der Dotierung zur komplexen Mikrostrukturierung ausnutzt [5]. Ebenso wichtig werden zukünftig auch anisotrope Trockenätzverfahren sein, deren Einsatzmöglichkeiten zur dreidimensionalen Strukturierung von Silizium allerdings noch nicht sehr intensiv untersucht sind.

Zur piezoelektrischen Anregung von mikromechanischen Siliziumstrukturen ist das Aufbringen einer piezoelektrischen Schicht notwendig. Hier kommen vor allen Dingen ZnO-Dünnschichten infrage, für deren Erzeugung es bereits erste Untersuchungen gibt [6,7]. Allerdings sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen teilweise widersprüchlich, so daß ein wesentlicher Punkt des

hier beantragten Vorhabens die Erarbeitung einer reproduzierbaren Technologie zur Herstellung piezoelektrischer Dünnschichten auf Silizium sein soll.

Ein epitaktisches Aufwachsen von ZnO kann durch die Oxidation von Zink-Dampf durch CO₂ gemäß der Reaktion



in einem Dreizonen-CVD-Ofen bei Temperaturen von 700 °C - 900 °C erfolgen. Ein orientiertes kristallines Aufwachsen mit der kristallographischen c-Achse von ZnO in Substratebene kann bis zu Schichtwachstumsraten von 30 µm/h erreicht werden. Nachteilig bei der CVD-Beschichtung ist die schlechte Reproduzierbarkeit der Beschichtung über größere Substratbereiche und die hohe Temperatur des Prozesses.

Bei der Herstellung von dünnen ZnO-Schichten durch Sputtern kann die Hauptschwierigkeit, die Reproduzierbarkeit der Beschichtung, durch das genaue Einstellen der Sputter-Parameter wie O₂-Partialdruck, Substrattemperatur und Sputterrate (abh. von DC/HF-Leistung, Abstand Substrat/Target etc.) beim reaktiven Sputtern von gesinterten ZnO-Targets oder hochreinen Zn-Targets in Planarreaktoren in ausreichendem Maße gelöst werden. Die Sputteranlagen können in Dioden-, Trioden- sowie Magnetronanordnung im DC- oder HF- Betrieb gefahren werden. Die ZnO-Schichten haben die Tendenz, in der Weise aufzuwachsen, daß ihre c-Achse senkrecht zur Substratoberfläche weist. Diese Tendenz zu einer bestimmten Aufwachsvorzugsrichtung ist unabhängig von der kristallinen Ordnung des Substrats und kann durch eine Vorspannung am Substrat beeinflußt werden. Durch Überlagerung eines Magnetfeldes kann der Grad der Orientierung verbessert werden. Schichtdicken in der Größenordnung bis 10 µm in Einkristall-ähnlicher Qualität sind nach Literaturangaben möglich.

Integration

Bei mikromechanischen Bauelementen auf der Basis von Silizium ist eine monolithische Integration mit elektronischen Bauelementen zwar grundsätzlich möglich, die zur Herstellung der elektrischen Funktionen erforderlichen Hochtemperaturprozesse wirken sich jedoch negativ auf das Ätzstoppverhalten vergrabener p⁺-Schichten aus [8]. Daneben stellt sich die Frage der Ausbeute bei solch komplexen monolithischen Systemen. Da außerdem Quarz als Substrat für aktive elektronische Funktionsgruppen nicht geeignet ist, soll im Rahmen des Vorhabens die Integration von mikromechanischen und mikroelektronischen Elementen in hybrider Technik erfolgen, d.h. mechanische und elektronische Bauelemente werden auf verschiedenen Substraten erzeugt und anschließend zu einer Einheit miteinander verbunden. Dies kann sowohl in Dick- oder Dünnschichttechnik, wie auch mittels Anodic Bonding erfolgen. Für Silizium ist das anodische Bonden eine bereits etablierte Technologie [9], für Quarz gibt es jedoch noch keine relevanten Untersuchungen.

1. S.Middelhoek, P.J.French, J.H.Huijsing, W.J.Lian
Sensors with digital or frequency output
Sensors and Actuators 15 (1988) 119-133
2. R.M.Langdon
Resonator sensors - a review
J. Phys. E: Sci. Instrum. 18 (1985) 103-115
3. J.C.Greenwood
Etched silicon vibrating sensor
J. Phys. E: Sci. Instrum. 17 (1984) 650-652
4. J.H.Staudte
Subminiature quartz tuning fork resonator
Proc. 27th Ann. Freq. Contr. Symp., 1973, p. 50
5. K.E.Petersen
Silicon as a mechanical material
Proc. IEEE 70 (1982) 420-457
6. O.Yamazaki, T.Mitsuyu, K.Wasa
ZnO thin-film SAW devices

- IEEE Trans. Sonics Ultrason. SU-27 (1980) 369-379
7. E.Krzesinski
A study of the effect of technological parameters
of R.F. sputtering on the size of grains and the texture
of thin ZnO films
Thin Solid Films 13 (1986) 111-120
8. A.Heuberger, W.Benecke
Mikrostrukturierung/Mikromechanik für die Sensorik
Untersuchung im Auftrag des BMFT im Rahmen des Förder-
schwerpunktes Mikroperipherik, Mai 1988
9. G.Wallis, D.I.Pomerantz
Field Assisted Glass-Metal Sealing
J. Appl. Phys. 40 (1969) 3946

Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

Zur Erreichung des Gesamtziels sind folgende Arbeiten auszuführen:

- (a) Patent- und Literaturrecherche
- (b) Festlegung der Entwicklungsziele
- (c) Erarbeitung der Funktionsprinzipien
- (d) Exp. Vorarbeiten im Hinblick auf die Entwicklungsziele, z.B. Untersuchung bekannter feuchteempfindlicher Schichten, Experimente zur Zugfestigkeit, Frequenzdrift, Verhalten in chemisch aggressiven Medien (Konstanz von Quarzschwingern), Untersuchung bekannter Passivierungsschichten
- (e) Theoretische Grundlagen
Resonatorgeometrien (mit Hilfe der Finite Elemente-Methode), Untersuchung der Schwingungsmoden und der Elektrodenformen zur Anregung (Thomson, US)
- (f) Erarbeitung folgender Technologien zur Herstellung von mikromechanischen Resonatoren aus Quarz bzw. Silizium:

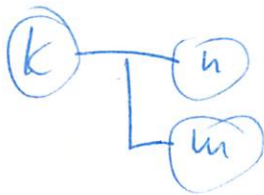
Strukturierung der Quarzform durch naßchemische und Trockenätzprozesse (Plasmaätzen) ^{HiWi} → alle
Dreidimensionale Mikrostrukturierung von Silizium mit Trockenätzverfahren

Erzeugung piezoelektrischer Schichten auf strukturiertem Silizium (ZnO)

Formgebung der Elektroden (FEM-Simulation)

② → Erzeugung feuchteempfindlicher Schichten (Staiger)

- (g) Entwicklung von Technologien zur Integration der mikromechanischen Resonatoren mit einer elektronischen Signalverarbeitung
hybride Aufbau- und Verbindungstechniken
Bonden von Quarz bzw. Silizium auf Substrate → Anodic Bond Silicon direct B.
- (h) Herstellung der diversen mikromechanischen Resonatoren: Fotolithographie, Naß- und Trockenätzen, Kontaktieren, Trimmen, sensitive Schichten, Bonden, Verpacken
- (i) Nachweis der Sensoreffekte
- (k) Entwicklung der Sensorelektronik (diskret, hybrid, (Michael) integriert), Standardisierung (FG, HiWi)
- (l) Entwicklung von Systemen zur optimalen Einleitung der Meßgrößen (Bizerba)
- (m) Detaillierte Untersuchung der Sensorstrukturen auf Empfindlichkeit, Linearität, Einflüsse von Störgrößen und Umwelteinflüssen, Kriechen, Überlast (Michael)
- (n) Untersuchung von Maßnahmen zur Kompensation von Störeinflüssen und zur Kennlinienlinearisierung, Temperaturkompensation, Software-Kalibrierung mittels μ Prozessor (mit m.) + k.)
- (o) Busanschlußkonzepte (Michael)



An diesen Arbeiten beteiligen sich die Partner mit den in der folgenden Tabelle eingetragenen Anteilen:

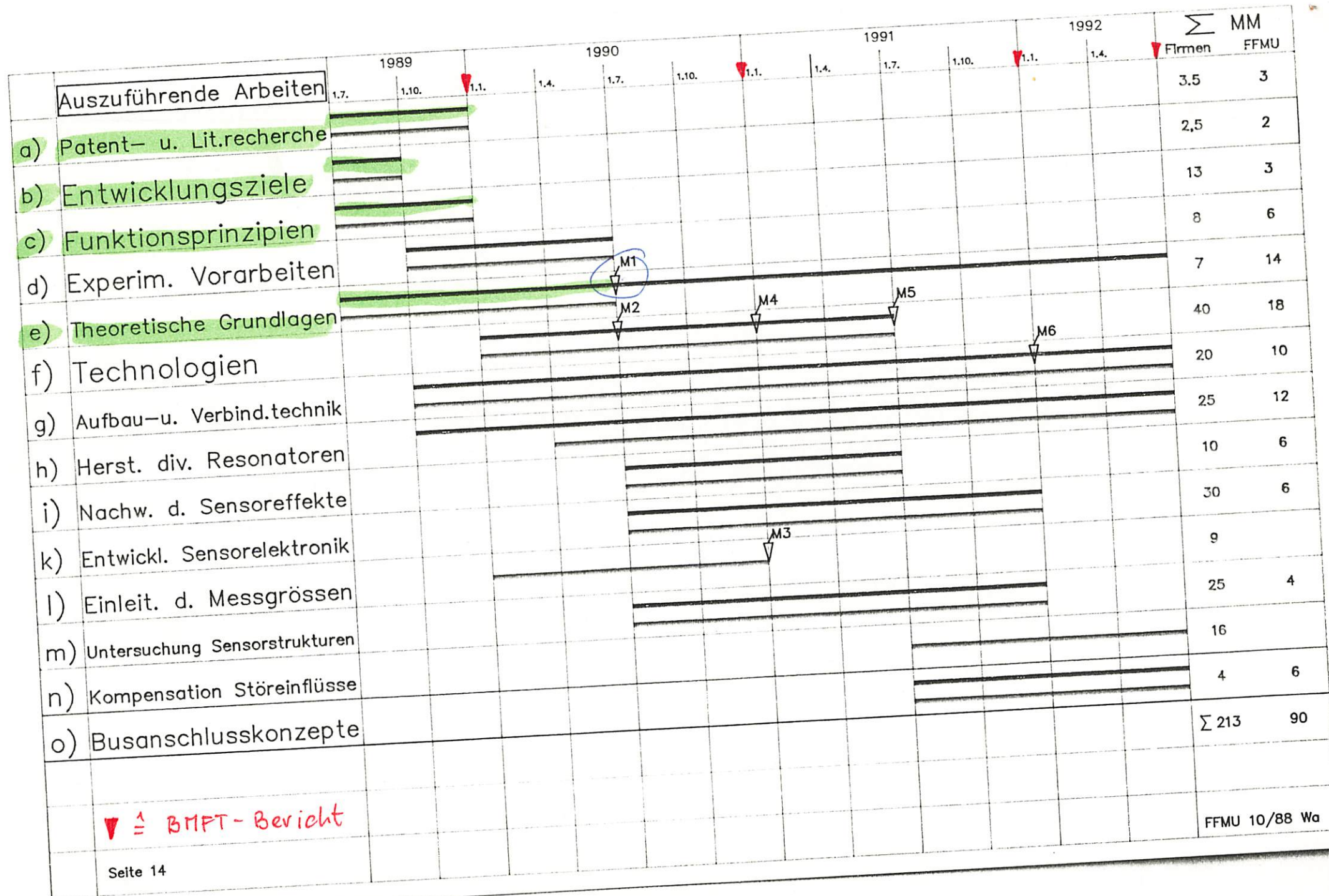
Zeitaufwand in MM

Auszuführende Arbeit	FI	Bizerba	Bosch	Moto-Meter	Staiger	Summe
a) Patent-u. Lit.-recherche	3	1	1	1/2	1	6.5
b) Entwicklungsziele	2	1	1	1/2	-	4,5
c) Funktionsprinzipien	3	9	2	2	-	16
d) Exp.Vorarbeiten	6	6	-	1	1	14
e) Theor.Grundlag.	14	3	-	4	-	21
f) <u>Technologien</u>	18	4	16	5	15	58
g) Aufbau-u.Verbindungstechn.	10	-	7	4	9	30
h) Herstellung v. Resonatoren	12	-	9	4	12	37
i) Nachw.d.Sensoreff.	6	-	5	3	2	16
k) Sensorelektro- nik	6	7	3	10	10	36
l) Einl.d.Meßgröß.	-	7	2	-	-	10 9
m) Unters.d.Sensorstrukturen	4	8	4	9	4	29 29
n) Komp.Störeinflüsse	-	6	-	7	3	16
o) Buskonzepte	6	-	-	4	-	10
S u m m e :	90	52	50	54	57	303
=====						

Für die Bearbeitung der Punkte (a) bis (o) ergibt sich der im Balkenplan dargestellte Zeitablauf.

Es können folgende Meilensteine definiert werden, die zu kritischer Bewertung der erreichten Ziele und ggf. zur "Kurskorrektur" Anlaß geben sollen:

- | | |
|------------------|--|
| Nach 1 Jahr: | M1: Dynamische FE-Rechnungen |
| | M2: Naßchemisch geätzte Quarzstrukturen |
| Nach 1,5 Jahren: | M3: Krafteinleitung für Kraftsensor (Bizerka) |
| | M4: Piezoelektrische Schichten auf Silizium |
| Nach 2 Jahren: | M5: Trockenätztechnik für Quarz und Silizium |
| Nach 2,5 Jahren: | M6: Integration von Quarzresonator mit Silizium-Chip |



Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Die Abteilung Mikrotechnik des Forschungsinstituts der Forschungsgesellschaft für Feingeräte-, Mikro- und Uhrentechnik e.V. beschäftigt sich seit vier Jahren mit den Technologien der Mikrostrukturierung von Quarz und Silizium. Im Rahmen eines Verbundvorhabens mit Mitgliedsfirmen der Forschungsgesellschaft und mit Förderung durch das Land Baden-Württemberg wurde im Stuttgarter Forschungsinstitut ein Reinraumlabor aufgebaut und folgende wichtige Technologien der Mikromechanik erarbeitet:

- Fotolithographie,
- naßchemisches anisotropes Ätzen von Silizium,
- Oxidation von Silizium,
- Schichtabscheidung durch Kathodenzerstäubung,
- anodisches Bonden von Silizium,
- Lasermikrolöten.

Auf Beschluß der Landesregierung Baden-Württemberg wird zur Zeit ein Institut für Mikrotechnik, zunächst als Außenstelle des Stuttgarter Instituts in Villingen-Schwenningen aufgebaut. Die Forschungsgesellschaft hat die Trägerschaft für diese neue Forschungsstätte übernommen. Es ist vorgesehen, in Villingen-Schwenningen u.a. Aufgaben der dreidimensionalen Mikrostrukturierung, der Mikromechanik, der Mikrooptik und der Mikrosystemtechnik mit dem Ziel der Zusammenfassung mechanischer, optischer und elektrischer Funktionen in einer Mikrostruktur zu bearbeiten.

Erfolgsaussichten

Am Forschungsinstitut der Forschungsgesellschaft für Feingeräte, Mikro- und Uhrentechnik e.V. werden in einem Verbundvorhaben die technologischen Grundlagen der Mikromechanik auf der Basis von Quarz und Silizium erarbeitet. Eine Reihe von Erfahrungen und Ergebnissen dieses Vorhabens können auf das hier beantragte Projekt übertragen werden. Bis Ende 1989 wird der Technologiebereich der Außenstelle in Villingen-Schwenningen mit ca. 600 m² Reinraumfläche fertiggestellt sein. Die gerätetechnische Grundausrüstung für alle geplanten Arbeiten ist damit vorhanden. Insgesamt sind also die technologischen Voraussetzungen für weiterführende Untersuchungen und Entwicklungen zur Mikrostrukturierung von Quarz und Silizium mit dem Ziel der Herstellung frequenzanaloger Sensoren gegeben. Außerdem steht ein Team von qualifizierten Physikern und Ingenieuren für die Durchführung des Projektes zur Verfügung. Die Erfolgsaussichten des Vorhabens sind daher sehr groß.

Ausführlicher Arbeitsplan des Forschungsinstituts (Stuttgart und Villingen-Schwenningen)

1. Grundlagen.

(a) Im Rahmen einer Patent- und Literaturrecherche wird der aktuelle Stand von Forschung und Technik sowie bestehende Schutzrechte dokumentiert.

(b,c) An Hand dieser Informationen werden detaillierte Anforderungen an die zu entwickelnden Technologien und die Sensorstrukturen festgelegt (Funktionsprinzip, Pflichtenheft).

(d) In experimentellen Vorarbeiten werden bekannte Strukturen auf ihre Eignung im Hinblick auf die Entwicklungsziele untersucht.

(e) Mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente werden Resonatorgeometrien, Schwingungsmoden und Elektrodenformen zur piezoelektrischen Anregung von Schwingungen untersucht. Dazu stehen diverse FEM-Programme im Hochschulrechenzentrum der Universität Stuttgart zur Verfügung.

2. Entwicklung von Technologien zur Herstellung miniaturisierter Resonatoren aus Quarz und Silizium.

(f) Im einzelnen werden am Forschungsinstitut die Technologien des anisotropen Ätzens von Quarz (naßchemisch, Trockenätzprozesse) und der Erzeugung piezoelektrischer Schichten auf Silizium mittels Sputtern bearbeitet.

3. Entwicklung der Technologie zur Integration miniaturisierter Resonatoren mit einer elektronischen Informationsverarbeitung.

(g) Die möglichen Methoden, Silizium und Quarz auf Substrate zu bonden (z.B. mit der Technik des anodischen Bondens), werden untersucht. Damit soll die Grundlage zur Integration der mikro-mechanischen Resonatoren mit einer mikroelektronischen Informationsverarbeitung zu einem Mikrosystem gelegt werden.

4. Herstellung von Mustern frequenzanaloger Sensoren.

Mit Hilfe der in den Arbeitsphasen 2 und 3 und den von den Partnern erarbeiteten Technologien werden Muster hergestellt (h,k) und detailliert bzgl. ihrer Eigenschaften untersucht (i,m).

5. Bussysteme.

(o) Im Hinblick auf die Vernetzung von Sensoren werden diverse Busanschlußkonzepte auf ihre Eignung für den Einsatz bei frequenzanalogen Sensoren auf der Basis von mikromechanischen Resonatoren untersucht.