

VERBUNDVORHABEN "EINSATZ DER MIKROMECHANIK
ZUR HERSTELLUNG
FREQUENZANALOGER SENSOREN"

STATUSBERICHT JULI 1990 / GEBR. STAIGER GmbH,
ST. GEORGEN

TEIL 1: Applikation von Meßwiderständen auf Siliziumnitridmembranen

I. Zusammenfassung der Ergebnisse bis Jan. 1990

Die Untersuchungen hatten gezeigt, daß sich die PECVD-nitrid-Schichten prinzipiell gut als Ätzmaskierung für die mikromechanische Siliziumätzung in KOH eignen. Nach Optimierung der Abscheideparameter konnte auch gezeigt werden, daß Membranen (2.5mm*2.5mm*3µm) und Brückenstrukturen aus dem Nitrid hergestellt werden können.

II. Nächstes Ziel

Als nächstes Ziel der Entwicklung wird die Applizierung von Nickelmeßwiderständen auf der dünnen Membran bzw. Brücke angestrebt. Letztendlich soll ein Meßwiderstand zwischen zwei ca. ein µm dicken Si₃N₄-Schichten frei aufgespannt sein. (Folie 1)

III. Aufbau und Herstellungsprozess

1. PECVD-beschichtung beidseitig polierter Wafer mit 1 µm Si₃N₄.
2. Aufbringen von Justiermarken auf Vorder- und Rückseite.

Die Ausrichtung der Justiermarken zum Waferflat und die Deckungsgleichheit von Vorder zu Rückseite wird mit Hilfe eines Justageadapter mit mechanischen Anschlagstiften erreicht. Der Justageadapter besteht aus zwei über ein Scharnier verbundenen Metallrahmen. Im unteren Rahmen sind 3 Anschlagstifte eingepasst. Der Wafer wird beidseitig mit Photolack beschichtet und zwischen zwei Chrommasken mit je zwei deckungsgleichen Justiermarken mit den Flat's an die Anschlagstifte gelegt. Sowohl die Chrommasken als auch der Wafer liegen an den Anschlagstiften, so daß alle gleich ausgerichtet sind. Durch Federn am oberen Rahmen werden die Masken mit dem dazwischenliegenden Wafer nach Schließen des

Adapters gespannt. Durch die jeweiligen Aussparungen in den Rahmen werden beide Seiten belichtet. Die Deckungsgleichheit der Justagemasken wird dadurch erreicht, daß eine Maske auf herkömmliche Art (Step-und Repeat kamera) hergestellt wird, und davon in dem Justageadapter eine Kopie gefertigt wird. Durch Ätzung werden die Justiermarken auf die Nitridschichten auf der Vorder- und Rückseite abgebildet. Durch eine kurze KOH-ätzung des freiliegenden Siliziums der Justiermarken wird noch der Kontrast verbessert. Alle im weiteren Ablauf benötigten Masken werden auf die so hergestellten Marken justiert, sodaß mit einem einseitigen Belichtungsgerät gearbeitet werden kann. Für viele Anwendungen ist die so erreichbare Justagegenauigkeit von ca 50 μm ausreichend.

3. Aufdampfen und Strukturieren des Nickelwiderstandes.

Bei der Testmaske wurde für den Meßwiderstand ein Grundwert von 100 Ohm gewählt. Um später die Membranfläche möglichst klein zu halten (und da punktförmiges Messen meist angestrebt wird) wurde eine möglichst kleine Mäanderfläche von 0.3*0.3 mm gewählt. Damit ergibt sich bei einer von uns noch erreichbaren Strukturgröße von 10 μm eine Nickelschichtdicke von ca. 200nm.

4. Aufdampfen von löt-bzw. bondfähigen Kontaktierungsflächen

Zur Kontaktierung der Meßwiderstände werden im Lift-off Verfahren Pads außerhalb der Membran aufgebracht. Beim Lift-off Verfahren wird der Photolack an den zu beschichtenden Flächen entfernt und dann der Wafer ganzflächig bedampft. In Aceton wird der Lack aufgelöst, wodurch sich das aufgedampfte Material abhebt. an den lackfreien Stellen verbindet sich das aufgedampfte Material mit dem Nickel.

5. PECVD-Beschichtung zur Passivierung.

Zum Schutz des Nickelwiderstandes vor aggressiven Medien wird eine weitere Plasmanitridschicht mit den gleichen Abscheideparametern wie die erste aufgebracht.

6. Öffnen der Kontaktflächen

Die ganzflächig aufgebrachte Passivierungsschicht muß im Bereich der Kontaktierungspads naßchemisch freigeätzt werden. Die Öffnung ist etwas kleiner als der Pad. Bei der Ätzung muß die Rückseite mit Photolack geschützt werden.

7. Öffnen des Silizium-Ätzfensters auf der Rückseite

Für die Si-Ätzung wird die Nitridschicht auf der Rückseite als Ätzmaske verwendet. Entsprechend des 55° -Ätzwinkels werden Fenster mit einer etwas größeren Kantenlänge als die der Membran freigeätzt. Bei dieser Ätzung muß die Vorderseite mit Photolack geschützt werden.

8. Anisotrope Siliziumätzung

Zuletzt wird das Si durch das rückseitige Fenster mit der bekannten anisotropen KOH-Ätzung entfernt. Die Ätzzeit beträgt ca. 5h 20 min.

IV. Ergebnisse

Zunächst wurde die Versuchsreihe die in der letzten Besprechung dargestellt wurde etwas erweitert. Bei Versuch Nr. 9 wurde die Temperatur nochmal um 50°C auf 200°C erhöht. Die Ätzrate in KOH 30 %/ 80°C war ca. $.75\text{ nm/min}$. Die laterale Unterätzung $2.2\text{--}2.8\text{ }\mu\text{m/h}$. Es konnten Membranen mit einer Dicke von ca. $1.5\text{ }\mu\text{m}$ sicher (Ausbeute 93 %) hergestellt werden. (siehe Muster)

Membranen mit Ni-widerstand

1. Schichtaufbau: $\text{Si}_3\text{N}_4(1)/1.7\text{ }\mu\text{m}$, Ni/200 nm, $\text{Si}_3\text{N}_4(3)/0.5\text{ }\mu\text{m}$

Zuerst wurde ein Schichtaufbau gewählt, bei dem die Ni-schicht nicht mittig zwischen den Nitridschichten liegt. Die erste Nitridschicht war $1.7\text{ }\mu\text{m}$ dick, und die obere Passivierungsschicht vor der KOH-ätzung $0.5\text{ }\mu\text{m}$. Da die Ätzrate von Si_3N_4 ca. 1 nm/min ist, wird bei der über 5 stündigen Ätzung ca. $0.3\text{ }\mu\text{m}$ abgetragen, so daß nur noch eine Passivierungsschicht von ca. $0.2\text{ }\mu\text{m}$ übrigbleibt. Auch hier konnten Membranen mit dem Messwiderstand mit großer Ausbeute hergestellt werden. Jedoch traten bereits vor der KOH-ätzung Probleme mit der Nitridhaftung auf Nickel auf. Vor allem auf großflächigen Nickelbereichen konnte man Bläschenbildung der Nitridschicht beobachten. Im Randbereich des Wafers löste sich bei der KOH-ätzung das Nickel mit dem oberen Nitrid großflächig ab. Um die Dichtheit der Passivierung zu prüfen wurde der Wafer 30 min in verdünnter Salzsäure bei 70°C getaucht. Die Nickelwiderstände lösten sich dabei fast vollständig auf. (siehe Muster) Mit diesen beiden Wafern wurden Sägeversuche durchgeführt. Da der Rahmen bzw. das Rähmchen der Membranen eine rel. kleine Klebefläche hat, wurde der Wafer nicht bis zur Klebefolie durchgesägt, um ein Ablösen einzelner Membranen von der Klebefolie zu vermeiden.

2. Schichtaufbau: $\text{Si}_3\text{N}_4(1)/ 1 \mu\text{m}$, $\text{Ni}/200 \text{ nm}$, $\text{Si}_3\text{N}_4(3) 1 \mu\text{m}$

Wegen des mangelhaften Dichtheitstests beim ersten Versuch wurde der Schichtaufbau so geändert, daß die Ni-schicht mittig zu liegen kommt, d.h. zwischen je $1 \mu\text{m}$ dicken Nitridschichten. Zusätzlich wurde jetzt noch ein Temperprozess von $250^\circ \text{C}/20\text{h}$ zur Stabilisierung und Haftungsverbesserung der Nickelschicht eingefügt. Nach der Siliziumätzung waren diesmal jedoch alle Membranen gebrochen. Im Moment ist es uns noch nicht möglich eine sichere Aussage über die Ursachen zu machen.

Die Nitridreste der gebrochenen Membranen sind nach oben gebogen. Das läßt vermuten, daß die obere Nitridschicht eine größere Zugspannung hat als die untere. Da die Abscheideparameter der beiden Nitridschichten gleich sind sollte man eigentlich gleiche Schichteigenschaften erwarten. Es ist jedoch möglich, daß nachfolgende Prozesse die Schichteigenschaften der bereits aufgetragenen Schichten ändern. z.B. ist eine Relaxation der ersten Nitridschicht durch Temperaturbelastung denkbar. Ein weiterer Versuch mit gleichem Schichtaufbau, jedoch ohne 20-stündige Temperung bei 250°C nach der Ni-Strukturierung brachte keine Verbesserung. Eine Temperung der vollständigen Schichtfolge führte zur Rissbildung und teilweisen Ablösung der Nickel- und oberen Nitridschicht.

TEIL 2: Vorversuche zur Technologie " Siliziumstrukturen"

I. Definition/Ziel

Bisher galt unser Hauptinteresse der Herstellung von quasi zweidimensionalen Siliziumnitridstrukturen, bei denen das Silizium nur als Träger in Form eines Rähmchens bei der Membran oder einer V-grube bei der Brücke fungiert. Parallel dazu wollen wir nun mit der ätztechnischen Herstellung von Strukturen aus Bulk-Silizium beginnen. Der Schwerpunkt soll zuerst auf Strukturen liegen, die aus (100)-Silizium herstellbar sind, und für frequenzanaloge Sensoren geeignet sind. Dabei soll auch die Möglichkeit genutzt werden von beiden Waferseiten her zu ätzen. Die beidseitige Ätzung muß nicht unbedingt gleichzeitig geschehen, wenn es gelingt nach einer ersten einseitigen Ätzung die Seite mit einem Ätzstop zu beschichten, und daraufhin die zweite Seite zu ätzen. Dadurch wäre es möglich Strukturen herzustellen, die in z-Richtung (senkrecht zum Wafer) Maße haben, die kleiner als die Waferdicke sind.

II. Beispiel

1. Siliziummembran

Entscheidend für die ätztechnische Herstellung von Si-Membranen ist die Reproduzierbarkeit der Membrandicke. Bei reiner Zeitätzung (Ätzabbruch nach definierter Zeit) wirken sich Toleranzen der Waferdicke und der Ätzrate auf die Reproduzierbarkeit der Membrandicke aus. Es soll deshalb eine Methode mit zusätzlicher optischer Endpunkterkennung untersucht werden. Zuerst werden auf der späteren Membranseite einige V-Gruben geätzt. Die Tiefe der V-Grube läßt sich durch die Breite der V-Grube und damit durch den Maskendesign einstellen. Anschließend wird das Silizium von der Rückseite geätzt. Das Erreichen der Spitze der V-Grube kann man im Durchlicht an der Ausbildung eines hellen Spaltes erkennen, und die Ätzung unterbrechen. Die nicht mit einer V-Grube versehenen Membranen haben eine Dicke entsprechend der Tiefe der V-Grube.

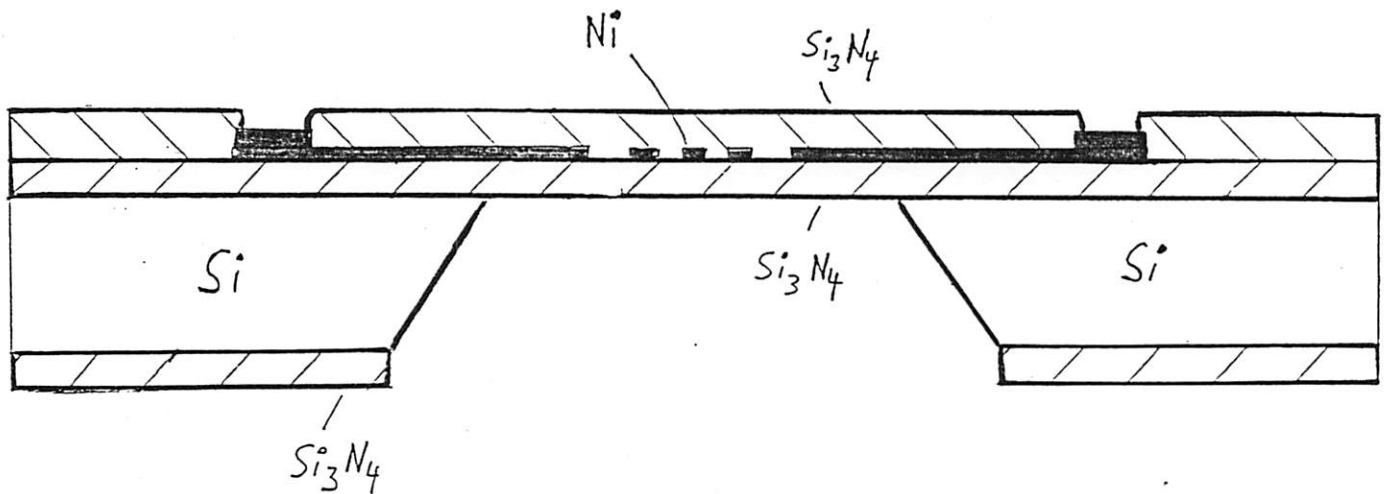
1.1 Ergebnisse Vorversuch

Durch einen ersten Versuch sollte die prinzipielle Machbarkeit der Methode getestet werden. Es wurde mit einem einseitig poliertem Wafer gearbeitet. Als Membrandicke wurde $20\text{ }\mu\text{m}$ angestrebt. Für die Breite der V-Grube ($B=\sqrt{2}\cdot T$) ergibt sich damit $28,28\text{ }\mu\text{m}$. Der Wafer wurde anschließend so gesägt, daß die V-Grube und die Membrandicke vermessen werden konnten. Als Membrandicke ergab sich ein zu großer Wert von $40\text{ }\mu\text{m}$. Die Breite der V-Grube war $53\text{ }\mu\text{m}$. Die Messwerte ergeben einen Ätzwinkel der (111)-Ebenen zur Waferoberfläche von $56,5^\circ$. Der Hauptgrund für die Abweichung von der angestrebten Membrandicke von $20\text{ }\mu\text{m}$ liegt in der geringen lateralen Ätzung der ätzbegrenzenden (111)-Ebenen, was eine Verbreiterung und Vertiefung der V-Gruben zur Folge hat. Mit der früher ermittelten Ätzrate von ca. $2,5\text{ }\mu\text{m/h}$ ergibt sich bei 5-stündiger Ätzung eine Verbreiterung von $25\text{ }\mu\text{m}$ auf $53\text{ }\mu\text{m}$. Die Verbreiterung kann entweder durch Berücksichtigung beim Maskendesign, oder durch Aufbringen einer Ätzstoppschicht nach Erzeugen der V-Grube vermieden werden.

Nr.	FLOW SiH4 2.5% sccm	FLOW NH3 sccm	FLOW N2O sccm	DRUCK mbar	TEMP. °C	LEIST. W	SCHICHT	ATZRATE KOH 30% 80 °C nm/min	UNTER- ATZUNG (111) µm/h	BEMERK.
1	1000	120	-	1	300	180	Si3N4			Risse
2	1000	120	-	1	100	180-260	Si3N4	.9-1.1	ca. 20	
3	1000	120	-	1	150	220	Si3N4	2.2?	3,7	Bruecke
4	1000	-	40	1	150	220	SiO2	7.76		
5	936	120	40	1	150	220	SiOxNy	5.93		
6	1000	120	-	1	150	220	Si3N4	1.1	4,8	
7	1000	120	-	1	150	220	Si3N4		2,1	Membran
8	1000	120	-	1	150	220	Si3N4			Membran

STAND JAN. 1990

9	1000	120	-	1	200	175	Si3N4	.75	2.2-2.8	Membran
---	------	-----	---	---	-----	-----	-------	-----	---------	---------

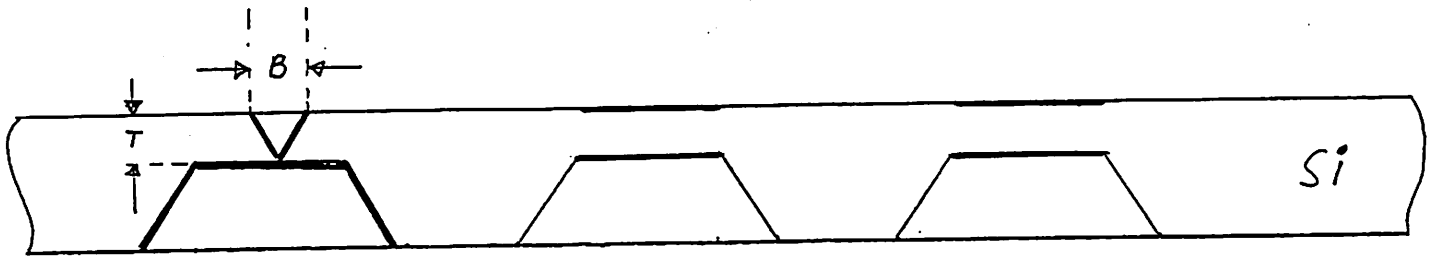


HERSTELLUNGSPROZESS

1. PECVD - Beschichtung beidseitig polierter Wafer mit je $1 \mu\text{m}$ Si_3N_4
2. Aufbringen von Justiermarken auf Vorder- und Rückseite mit Hilfe eines Justageadapters.
3. Aufdampfen und Strukturieren eines Nickelwiderstandes
4. Aufdampfen von Kontaktierungspads
5. PECVD - Beschichtung zur Passivierung.
6. Öffnen der Kontaktflächen.
7. Öffnen des Silizium-Ätzfensters auf der Rückseite.
8. Anisotrope Siliziumätzung

TECHNOLOGIE "SILIZIUMSTRUKTUREN"

Silizium-Membran



Herstellungsprinzip

1. Herstellen definierter V-Grube
 $B = \sqrt{2} \cdot T$ (B=Breite, T=Tiefe bzw. Membrandicke)
2. Ätzen Rückseite, bis Spitze V-Grube