

## Sachbericht zu Verwendungsnachweis – Teil 1: Kurzbericht

ZE: <b>Fraunhofer EMFT</b>	Förderkennzeichen: <b>16ME0488K</b>
Vorhaben: Verbundprojekt: <b>"Skalierbare Plasmaquellen für umweltfreundliche Tiefen-Ätzprozesse in der Chipfertigung" (SUMSi)</b>	
Laufzeit des Vorhabens: <b>01.02.2022 – 31.12.2022</b>	
Ansprechpartner: <b>Dr. Wilfried Lerch</b>	

### Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Projektziel von SUMSi ist es, ein skalierbares, umweltschonendes und Ressourcen-optimiertes Plasma-Quellenkonzept für 200/300 mm Ätzanlagen für das homogene Tiefenätzen von Silizium zu entwickeln, aufzubauen und zu evaluieren. Dazu werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: ein Feld von miniaturisierten Spulen zur induktiven Einkopplung des Plasmas (13,56 MHz) und eine Mikrowellen-Einkopplung mittels Plasmastäben (2,45 GHz). Die Quellenkonzepte können mit modellbasierter Entwicklung und Anlagensteuerung sowie innovativen Prozesssensoren im Sinne von „Smart Manufacturing“ kombiniert werden. Die Vor- und Nachteile der beiden Quellenkonzepte werden bewertet.

Das neue Quellenkonzept erlaubt im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen ein kleineres Kammervolumen und somit eine fast vollständige Gasausnutzung und damit schnellere Gaswechsel für kurze Prozesszeiten. Weiterer integraler Bestandteil der Entwicklung ist die „Green Production“, d.h. die Minimierung/Vermeidung von umweltschädlichen Gasen. Der Ersatz von SF<sub>6</sub> durch F<sub>2</sub> als Ätzgas (FAN = Gasgemisch aus F<sub>2</sub> / Ar / N<sub>2</sub>) soll auch die Akkumulation von Schwefel-Fluor-Silizium-Verbindungen im gesamten Vakuum-Abgasbereich eines Ätzers vermeiden. Dies bedeutet eine erhebliche Erleichterung bei den regelmäßigen Wartungs- und Reinigungszyklen. Zudem wird dadurch ein wesentlicher Beitrag zur „Green Production“ geleistet.

### Ablauf des Vorhabens

An der Fraunhofer EMFT wurde für den Nachweis der Funktionalität der flächigen Plasmaanregung eine bestehende RIE-Kammer einer vorhandenen 200 mm Wafer Anlage (Mark II von Applied Materials) verwendet, somit stand das automatische Wafer Handling, das Pumpsystem und die Gasversorgung bereits zur Verfügung. Neu konzipiert wurden zwei Anlagenköpfe mit den jeweiligen flächigen Plasmaquelle, ein neuer seitlicher Gaseinlassring und alle nötigen Modifikationen zum Betrieb der Kammer mit 2 HF-Generatoren, Source-RF und Bias-RF.

Nach dem Abschluss der Umbau-Arbeiten wurde eine Saugvermögens-Kurven an der modifizierten Plasma-Ätzanlage AMAT Mark II ermittelt, um den möglichen Arbeitsbereich für den Prozessdruck in Abhängigkeit vom Gasfluss zu bestimmen und es zeigte sich, dass Prozesse nach dem Umbau der Plasma-Ätzanlage auch mit niedrigen Drücken im Bereich 10 -25 mT gefahren werden können.

Die entscheidende Aufgabe der Fraunhofer EMFT neben der oben erwähnten Maschinenanpassung als Vorbereitung ist im Verbundprojekt die Evaluierung beider Quellen und die Testung des Bosch-Prozesses zur Si Tiefenätzung unter Prozessbedingungen und mit entsprechenden Trench Masken entsprechend dem Stand der Technik.

### Ergebnisse

In dem knapp bemessenen Projekt-Bearbeitungs-Zeitraum konnte keine Prozess-Optimierung mit dem Standard-Ätzgas SF<sub>6</sub> und dem umweltfreundlicheren Gasgemisch FAN bzgl. Ätz-Homogenität durchgeführt werden, sondern nur die grundlegende Funktionalität beider Quellenkonzepte mit den Ätz-Gasen SF<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> und FAN-Gasmischung. In Bild 1 und Bild 2 sind beide Quellen, INCA und Mikrowelle, in Aktion gezeigt, inklusive der unterschiedlich hellen Plasmen, jeweils mit der FAN-Gasmischung sowie mit C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> zur Polymerbildung.

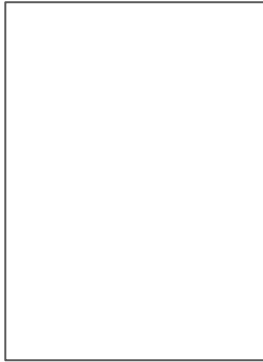


Bild 1a/b: An die Versuchskammer angepasste INCA-Quelle mit neuem Gaseinlassring (links) und FAN-Plasma (rechts oben) bzw. C4F8-Plasma (rechts unten)



Bild 2a/b: Mikrowellenkopf auf Versuchskammer aufgesetzt (links) und FAN-Plasma (rechts oben) bzw. C4F8-Plasma (rechts unten)

Die Keramik-Platte der INCA-Quelle in Verbindung mit der induktiven Einkopplung führt zu einer geringeren Plasmahelligkeit im Vergleich zur Mikrowellen-basierten Einkopplung durch die ersatzweise verwendete Glasplatte.

Bei Verwendung von SF<sub>6</sub> zeigten sich vergleichbare oder sogar höhere Si-Ätzzraten mit der INCA bzw. der Mikrowellen-Quelle im Vergleich zur Industrie-Referenzkammer von SPTS unter Verwendung desselben Gasflusses sowie einer Turbopumpe mit größerem Saugvermögen, siehe Tabelle 1.

Tabelle 2: Prozess-Vergleiche zwischen INCA-, Mikrowellen-Quelle und DRIE-Anlage SPTS Pegasus

	INCA FAN-Gas	Mikrowellen FAN-Gas	INCA SF <sub>6</sub> -Gas	SPTS Pegasus SF <sub>6</sub> -Gas
Source-Leistung	800 W	3000 W	800 W	2400 W
Gasfluss	500 sccm FAN	500 sccm FAN	150 sccm SF <sub>6</sub>	300 sccm SF <sub>6</sub>
Turbopumpen-Volumen	600 l	600 l	600 l	2000 l
Si-Ätzzrate	ca. 278 nm/min	ca. 380 nm/min	ca. 2600 nm/min	ca. 5000 nm/min
Selektivität Si : SiO <sub>2</sub>	ca. 50 : 1	ca. 19 : 1	größer 500 : 1	größer 300 : 1

Nach insgesamt 20 min Ätzzeit eines Bosch-Prozesses mit strukturierter Hardmask in der INCA-Quelle wurden EDX-Aufnahmen auf der SiO<sub>2</sub>-Hardmask sowie im geätzten Si-Trench durchgeführt. Diese zeigten ein deutliches und vergleichbares Al-Signal bei ca. 1,5 keV. Es könnte sich dabei um Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und/oder Polymer handeln, das sich auf die unbeheizte Keramikplatte schneller ablagert (Vgl. DRIE-Ätzer von SPTS Pegasus: 140 °C permanente Heiztemperatur). Deswegen muss in der nächsten Weiterentwicklungsphase zwingend eine konstant geregelte Heizung der keramischen Einkoppelplatte vorgesehen werden.

Tabelle 2 zeigt den Vergleich der technischen Details beider Quellenkonzepte.

Tabelle 2: Vergleich der beiden Plasmaquellen

	INCA-Quelle	Mikrowellen-Quelle
Material der Trennplatte	Keramik	Quarz
Source-Leistung	bis 1,1 kW	bis 9 kW
Kühlung	Luft	Luft und Wasser
Gewicht	Ca. 30 kg	Ca. 200 kg

Die Ergebnisse mit der FAN-Gasmischung zeigten, dass diese als Ersatz für SF<sub>6</sub>-Gas einen zu geringen Fluor-Anteil besitzt. Um eine höhere Si-Ätzzrate mit FAN erreichen zu können, wäre daher eine zusätzliche F-Quelle notwendig. Es bedarf einer sehr umfangreichen Prozessentwicklung zur Bestimmung einer alternativen, umweltfreundlicheren Gasmischung gegenüber der heutigen SF<sub>6</sub> / C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>-Gaskombination.

Aufgrund der gefundenen Ergebnisse für die beiden, im Detail sehr unterschiedlich konzipierten Quellenkonzepte, ist eine Weiterführung der Untersuchungen bis hin zum Aufbau einer entsprechend optimierten Gesamtanlage sehr empfehlenswert und vielversprechend. Dann sollte es möglich sein, eine homogene und gleichmäßige Tiefenätzung bei optimaler Gasausnutzung auch mit alternativen Ätzzgas-Ansätzen zu realisieren.