

Integrierte 3D-CAD/CAE-Umgebung öffnet Tor in neuen Mikrokosmos

Sie sollte „Nanoelektronik“ heißen, nicht Mikroelektronik: plasway-Technologies arbeitet mithilfe von Solidworks-Technologien und der Methodenexpertise von DPS Software an Gamechangern für die Halbleiterindustrie.

Diese drei Technologien beflügeln die Digitalisierung nachhaltig: Aktorik, Sensorik und Technologieknoten in der Halbleitertechnik. Chips bestehen aus vielen (sehr vielen) Transistoren, bei Speicherchips kommen noch (Platten-)Kondensatoren hinzu. Dabei gilt: je kleiner die räumliche Ausdehnung („Technologieknoten“: halbes Abstandsmaß zweier Leiterbahnen), desto besser. So lassen sich auf einem fingernagelgroßen Chip 50 Milliarden Transistoren unterbringen, die mit der neuesten 2-nm-Technologie gefertigt werden (1). Und 2-nm-Technologieknoten dürften in Serienfertigung ab 2025 möglich sein (2). Damit würden sich auf einem Standard-300-mm-Wafer (etwa aus dotiertem Silizium (Si)) gut zehnmal mehr Transistoren befinden, als es Bäume auf der Erde gibt (3).

Ein Grund, warum man bei der Transistorherstellung immer mehr in atomare Dimensionen abtaucht, ist, dass die Schaltzeiten noch kürzer werden sollen. Und dabei spielt die sogenannte Critical Dimension, also die physische Ausdehnung der Strukturen, eine entscheidende Rolle. Gut zu tun hat die Mikroelektronikbranche aber auch deswegen, weil nach wie vor ein ungestillter Hunger nach noch mehr Datenspeicher (etwa DRAM-Chips) besteht – mehr Kapazität auf gleichem Raum.

Bild: Pixabay

Löcher bohren am Rande der Quantenmechanik

Für die Herstellung eines Transistors muss ganz gezielt Halbleitermaterial – zum Beispiel in Form von anisotropen (soll heißen: unsymmetrischen) Strukturen – wie eine Stufe entlang einer Kristallrichtung abgetragen (etwa durch Plasma-Ätzen) oder hinzugefügt werden, damit die gewünschten Schalteigenschaften erzeugt werden. Ganz groß im Kommen sind die „additiven“ Verfahren Atomic Layer Deposition (ALD) und neuerdings auch das Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition (PEALD). PEALD garantiert höhere Prozesssicherheit. Dies ist wichtig, weil Oberflächen mit höchster Homogenität erzeugt werden müssen – ansonsten würden die auftretenden Leckströme die gewünschten schnellen Schalteigenschaften zunichtemachen.

Mit Leidenschaft von Anfang an dabei

Der Diplomphysiker Stephan Wege ist seit mehr als 20 Jahren im spannenden Umfeld der Chipfertigung tätig und hat das Auf und Ab der Branche hierzulande miterlebt. Sein beruflicher Werdegang ist geprägt durch die legendären Chiphersteller Siemens Microelectronic, Infineon und Qimonda. Dabei hat sich der Physiker als eine Art „Guru“ für Ätz- und Plasma-Anwendungen („Principal Dry Etch“) einen hervorragenden Namen gemacht und schließlich seine profunden Kenntnisse in einer eigenen Unternehmung, der plasway-Technologies GmbH (Bannewitz bei Dresden, Sachsen), gebündelt.

Unter anderem entwickelt und produziert plasway-Technologies Komponenten und komplette Reaktorkammern auf dem Gebiet der plasmagestützten Abscheidung und des Ätzens (PEALD, ALE: Atomic Layer Etching). Für ältere, bestehende (Ätz-)Werkzeuge werden kundenspezifische Teile zur Verlängerung der Lebensdauer oder für den Einsatz der nächsten Generation und/oder zur Steigerung der Produktivität designt.

Als Consultant Wissen an andere weiterzugeben ist eine Sache, eine eigene Anlage zu entwickeln eine ganz andere. Stephan Wege wollte es wissen und entwickelt derzeit gemeinsam mit einem Team von fünf Mitarbeitern eine PEALD-Demonstrationsanlage, die das Zeug dazu hat, einen Innovationsschub für eine ganze Zukunftsbranche auszulösen. Bei der CAE-Methodenberatung vertraut plasway auf die Kompetenz und Unterstützung der DPS Software GmbH.



Starkes Team: Mitarbeiter von plasway-Technologies. Gesprächspartner Stephan Wege links im Bild

Bild: Valnion

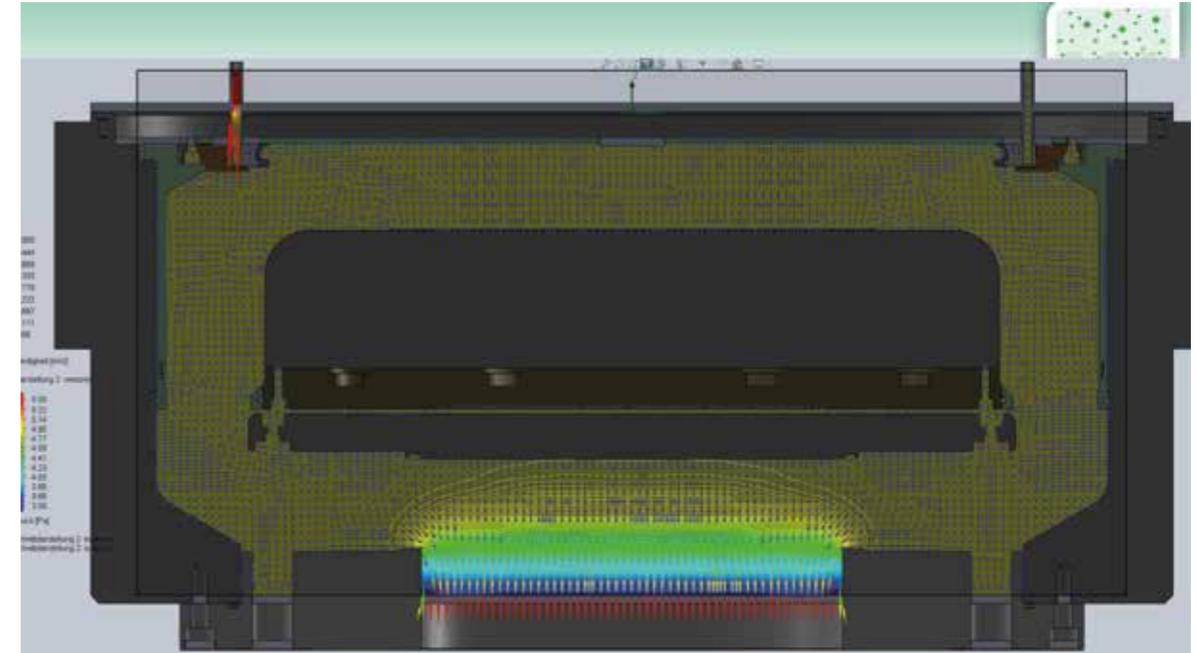
Als Tools kommen Solidworks 3D-CAD und Solidworks Flow Simulation zum Einsatz. „Unser Ziel bei der Demonstrationsanlage ist, sehr kontrolliert zwischen den Verfahren PEALD und ALD zu wechseln, sodass wir nicht nur Strukturen im nm-Bereich in hoher Güte erzeugen, sondern diese auch im Anschluss mit einer Schutzschicht versehen können, da es außerhalb der Reinraumumgebung schnell zu Verunreinigungen kommen könnte“, erklärt Stephan Wege und nennt als Beispiel winzig kleine Löcher im nm-Bereich mit einer Rauigkeit der Oberfläche im atomaren Bereich.

Valide Antworten auf wichtige Fragen

Bei plasway-Technologies entsteht eine Pilotanlage, die mit hoher Produktivität – soll heißen: mit großem Durchsatz – arbeiten kann. Zu den Aufgabe von Solidworks Flow Simulation gehört die Beantwortung der folgenden Frage: Wie lässt sich das Gas effektiv in der Kammer einschließen und schnell wieder absaugen? Entstanden ist das Anlagendesign auf Basis einer Anlage aus der Insolvenzmasse von Qimonda und gemeinsamen Basisexperimenten mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und System (IKTS) in Dresden. Mit Solidworks wurde das Design sukzessive optimiert.

Im Bau befindliche Demonstrationsanlage

Bild: Valnion



Querschnitt der Reaktorkammer. In der Mitte befindet sich der Wafer, unten wird das Gas abgesaugt

Quelle: plasway-Technologies 2022

Meisterleistung mithilfe von Solidworks

Über eine Anordnung von insgesamt 48 Düsen wird das Gas in den Reaktor geschossen. Allein diese Konstruktion ist eine Meisterleistung, denn der Bernoulli-Effekt (hier: resultierende Kräfte aufgrund unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeiten, verursacht durch abweichende Düsengeometrien) wird so genutzt, dass durch die Anordnung der Düsen eine weitgehend laminare Strömung des Plasmas an der Einlassseite erreicht wird. „Wir haben die Abstrahlcharakteristik der Düsengeometrien gemäß den Ergebnissen von Solidworks Flow Simulation optimiert. Hierzu haben wir die gesamte Reaktorgeometrie in der Modellierung berücksichtigt“, erklärt Stephan Wege.

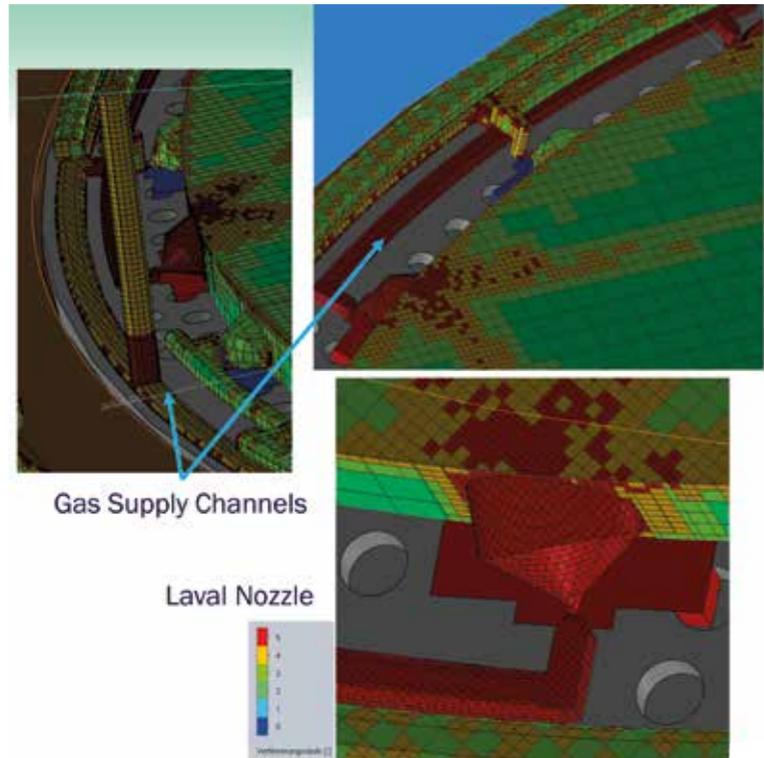
Die Geometrie des 500-mm-Gasrings mit all seinen Düsen ist derart anspruchsvoll, dass sie mit einer speziellen 3D-Keramikdrucktechnik hergestellt wird. Hinweis: Die Düsen haben einen Durchmesser von 0,3 mm und müssen auf einer 5-µm-Skala glatt sein – alles wurde zuvor mit Solidworks konstruiert und funktional abgesichert!

Vor der Einführung von Solidworks Flow Simulation hatte Stephan Wege ein anderes Tool für die Strömungssimulation benutzt. „Es hatte zwar gute Ergebnisse geliefert, aber der Aufbau der Geometrie innerhalb des Tools war sehr mühsam. Die integrierte Design- und Analyseumgebung von Solidworks ist da von ganz anderer Qualität, erlaubt sie doch eine viel effizientere Suche nach der optimalen Lösung“, hebt der Geschäftsführer hervor. Dies sei ein sehr wichtiger Aspekt, weil sehr viele Berechnungsläufe durchgeführt werden mussten.

Alles unter Kontrolle

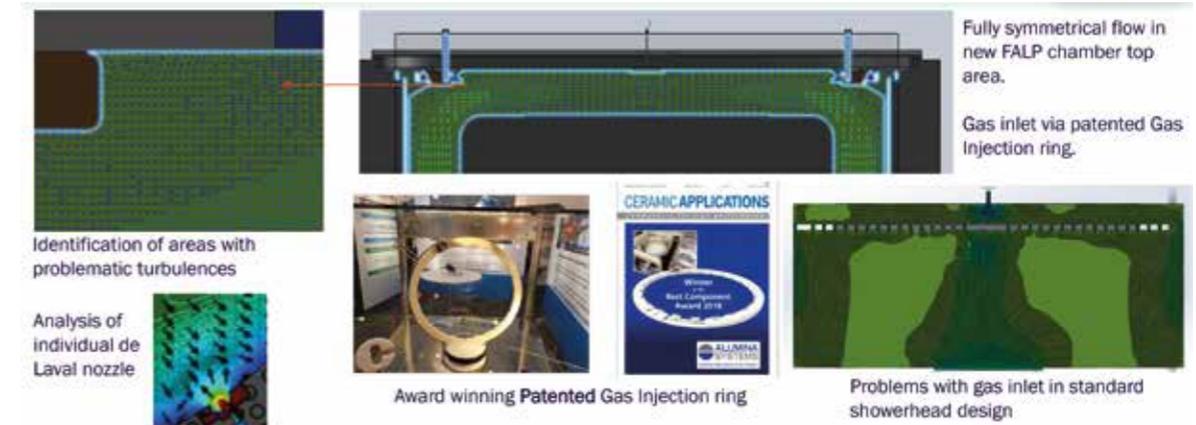
Als Prozessgas zum Ätzen von Silizium wird SF₆ in einen Argon-Strom eingeschossen und durch ein Plasma in Fluor (F) aufgebrochen. Die Fluor-Radikale adsorbieren auf der Siliziumoberfläche. Die kinetische Energie der kurzzeitig beschleunigten Argon-Ionen bricht dann die Si-Si-Bindung auf und das Silizium kann sich mit Fluor verbinden. Da gleichzeitig volatile Beiprodukte (SiF₄) entstehen, muss die Reaktion unter Quasi-Vakuumbedingungen stattfinden.

Im Anschluss kann dieses „Abgas“ abgesaugt werden, und wieder ist eine Atomlage „abgetragen“. Stephan Wege gewährt einen kurzen Einblick in die Feinheiten der Prozessführung: „Je höher die Temperaturen, desto schwieriger ist die gewünschte Qualität – vor allem mit Lack als Maske – zu erreichen. Deswegen arbeiten wir mit geringeren Plasmatemperaturen von meist nur einigen Hundert Grad Celcius und Drücken von 20 bis 300 mbar, was 20 bis 30 Prozent des Atmosphärendrucks entspricht. Außerdem lässt sich unser Design sehr schnell wieder auf einen Druck von 1x10⁻⁶ mbar absenken, bevor der nächste PEALD-Prozess gestartet wird.“ Eine sehr leistungsfähige Turbopumpe, unter dem Reaktor befestigt, sorgt für das ultraschnelle Absaugen (auch mit Solidworks Flow simuliert). Und der Aufwand lohnt sich: „Wir sind mit unserem Design aller Voraussicht nach um den Faktor 5 bis 10 schneller als das, was sonst üblich ist.“ Gratuliere!, kann man Stephan Wege da nur zurufen.



Die Granularität der Vernetzung variiert: Um die Laval-Düsen herum ist das Berechnungsgitter am feinsten. Dargestellt ist die Einlassseite für das Gas

Quelle: plasway-Technologies 2022



Die Analyse der Strömungsdynamik in einer Reaktorkammer bezeichnet plasway-Technologies als Kernkompetenz. Die neue FALP-Kammer (FALP: Fast Atomic Layer Processing) mit vollsymmetrischem Fluss soll im Oktober 2022 fertiggestellt werden

Quelle: plasway-Technologies April 2022

Kompetente Methodenberatung

„Wolfgang Müller von DPS hat mir bereits in der Anfangszeit im Umgang mit Solidworks Flow Simulation sehr dabei geholfen, den Gasring zu optimieren. So hat er mir Tricks beigebracht, um die FE-Methode zielführend für den Modellaufbau anzuwenden. Dies hat die Effizienz der Berechnung enorm gesteigert. Innerhalb des Gasrings muss im Bereich der Düsen eine Auflösung von weniger als 300 µm erzielt werden, der Ring hat aber insgesamt einen Durchmesser von 500 mm“, erklärt Stephan Wege. Mit anderen Worten: Auf der einen Seite verlangt die Optimierung eine sehr feine Vernetzung (gerade im Umfeld der Düsen); dann aber muss sie auch wieder grob genug sein, um den Berechnungslauf so kurz wie möglich zu gestalten. „Auch bei der Wahl der Geometrie der Vernetzungselemente hat Wolfgang Müller mir wertvolle Tipps gegeben“, so der Geschäftsführer anerkennend.

Die Detailarbeit bei der Parameterwahl für Solidworks Flow Simulation trägt Früchte: Die Berechnung läuft auf einer Workstation mit einem AMD-Chip und 64 Kernen. „Das Gute an Solidworks ist auch, dass es 64 Kerne und 128 Threads voll unterstützt. Ausgestattet ist die Workstation mit einem 256-GBit-RAM-Speicher und einer sehr schnellen SSD-Festplatte, sodass eine vollständige Kammersimulation lediglich etwa zehn Stunden beträgt“, sagt Stephan Wege zufrieden. Zutraglich ist der Designoptimierung auch, dass die Ausbreitung der Gasdynamik unabhängig von der Kammer einschließlich Wafer optimiert werden kann. Des Weiteren wird Flow Simulation beim Design der Zuleitung zu den Düsen genutzt. So wurde sichergestellt, dass an allen Düsen der gleiche Druck herrscht.

Für den Außenstehenden kaum zu glauben: Allein im Gasring stecken mehrere Jahre Entwicklungs- und Simulationsarbeit. „Letztlich haben wir einen vollsymmetrischen Aufbau gewählt, weil sich dies als ideal herausgestellt hat – wenn wir noch schneller beim Prozess sein wollen, müssen wir vollsymmetrisch abpumpen.“ Zu dieser Erkenntnis, so der Physiker, sei man erst durch Solidworks Flow Simulation gekommen.

Fazit

„Wolfgang Müller von DPS Software stand uns an vielen Stellen der Designanalyse helfend zur Seite. Wir haben ihn mit unseren Fragen auch ganz schön gefordert. Aber es hat ihm viel Freude bereitet, nach den richtigen Antworten zu suchen“, sagt Stephan Wege begeistert. Demnächst werden wir wissen, ob die reale Physik tatsächlich das bestätigt, was die computergestützte Analyse mit der integrierten Entwicklungs- und Analyseumgebung Solidworks vorgeschlagen hat. Denn bald steht der Betrieb der Demonstrationsanlage an, und die Messungen werden beginnen.

Und die Geschichte mit der Nutzung von Solidworks-Produkten hat erst ihren Anfang genommen. Stephan Wege nutzt inzwischen die elektromagnetische Simulationssoftware EMWorks zur elektrostatischen Analyse, um einen sogenannten Electrostatic Chuck (elektrostatische Spannvorrichtung) für die Reaktor-kammer zu entwerfen und schließlich herzustellen. Auch bei der Nutzung von EMWorks hat DPS Software wertvolle Hilfestellung gegeben.

Zum Hintergrund: Für nm-Strukturen ist die thermische Ankopplung der Halbleitersubstrate wie Si-Wafern ganz entscheidend. Aus diesem Grund wird der aktiv gekühlte oder geheizte Chuck und die Oberfläche des Wafers mittels der elektrostatischen Kraft an den Chuck gedrückt. Somit kann sich bereits eine einigermaßen gute thermische Direktankopplung ergeben. Da die eigentlichen Ätzprozesse aber im Vakuum ablaufen (in Bereich von einigen mbar), reicht diese Ankopplung nicht aus. Daher wird durch Öffnungen im Chuck Helium zwischen Wafer und Chuck-Oberfläche mit rund 15 mbar Druck geleitet. Helium hat neben Wasserstoff die beste Wärmeleitfähigkeit aller Gase. Somit können feinste Unebenheiten, Rauigkeiten auf beiden Oberflächen von Wafer und Chuck ausgeglichen und eine perfekte thermische Ankopplung mit guter Gleichförmigkeit des kritischen Ätzparameters „Temperatur“ erreicht werden. Die elektrostatischen Anziehungskräfte müssen ausreichend sein, um eine mechanische Verbiegung der Substrate zu kompensieren. Dies wird mit EMWorks simuliert. Da mechanische Klemmvorrichtungen auf der Oberfläche der Substrate Probleme wie Partikelbildung oder Kratzer bereiten, ist das elektrostatische „Klemmen“ auf einem Chuck die einzige Alternative. (bv)

Referenzen

(1) de.wikipedia.org/wiki/Technologieknotten

(2) www.heise.de/news/Modernste-Transistoren-IBM-erprobt-2-Nanometer-Chips-6040072.html

(3) www.elektronikpraxis.vogel.de/erster-chip-mit-2-nanometer-technologie-a-1023548/
www.plasway-technologies.de

www.dps-software.de/produkte/simulationsloesungen

Globales Kosmetikunternehmen implementiert Fertigungslösungen von Dassault Systèmes

Shiseido nutzt die DS-Branchenlösung „Perfect Production“ zur Optimierung des Manufacturing Operations Managements (MOM) an wichtigen Produktionsstandorten.

Shiseido implementiert die Branchenlösung „Perfect Production“ von Dassault Systèmes S.A. (Vélizy-Villacoublay bei Paris), um die Produktivität in den Werken zu steigern, die Kosten zu senken und seine Wachstumsstrategie „Win 2023 and Beyond“ zu unterstützen. „Perfect Production“ nutzt Apriso-Anwendungen der Delmia-Marke, die in die 3DExperience-Plattform integriert sind. In einer einheitlichen und kollaborativen Umgebung wird Shiseido seine End-to-End-Planung verbessern und seine Abläufe optimieren können.

„Die Pandemie hat uns gezeigt, wie wichtig Hautpflege und Wellness für Verbraucher sind. Bis 2030 wollen wir ein weltweit führendes Unternehmen für persönliche Schönheit und Wellness werden und den Menschen dabei helfen, ihre unverwechselbare Schönheit und ihr Wohlbefinden lebenslang zu verwirklichen“, sagt Atsunori Takano, Executive Officer und CITO von Shiseido.

„Der Wellnesstrend beschleunigt sich weltweit. Führende Unternehmen der Kosmetikbranche müssen innovative neue Produkte schneller als je zuvor auf den Markt bringen“, so Philippe Loeb, Vice President, Consumer Packaged Goods & Retail Industry bei Dassault Systèmes.

Mit der 3DExperience-Plattform profitieren globale Fertigungsunternehmen wie Shiseido von einer virtuellen Fertigungsumgebung in Echtzeit. Dies verleiht Unternehmen die Flexibilität, mehr aus ihren bestehenden Produktionsstätten zu machen und sämtliche Aspekte der Fertigung zu beschleunigen, um ihr Portfolio an individuellen Schönheits- und Wellnessprodukten für ihre Kunden zu erweitern.

ifwe.3ds.com/de/consumer-packaged-goods-retail

