



Schlussbericht

zum

Teilvorhaben: „Systemsteuerung & Wafer-Tisch für maskenlose Elektronenstrahlprojektionslithographiegeräte (ML2)“

PML2 – SWT

im

Verbundprojekt:

„Abbildungsmethodiken für nanoelektronische Bauelemente (ABBILD)“

sowie

„Development and Proof of Concept for Projection Mask-Less Lithography – T409“ (MEDEA+)

Förderkennzeichen: 01M3154Q

Laufzeit: 1.10.2003 – 31.3.2006

Projektleiter: Hans-Joachim Döring
Vistec Electron Beam GmbH
Göschwitzer Str.25, D-07745 Jena
Tel.: 03641-65-1932
e-mail: hans-joachim.doering@vistec-semi.com

1	Projektrahmenbedingungen	3
1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Vorraussetzungen für die Vorhabensdurchführung.....	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik	5
1.5	Zusammenarbeit im Konsortium.....	7
2	Ergebnisdarstellung	9
2.1	Erzielte Ergebnisse.....	9
	Arbeitspaket 0 Projektmanagement	9
	Arbeitspaket 1 Systemkonzept	9
Aufgabe 1.1	POC Lithographie Systemkonzept	9
Aufgabe 1.2	Machbarkeitsstudie für Beta Tool.....	11
	Arbeitspaket 2 Elektronenoptische Säule (EOC)	18
Aufgabe 2.2	Optischer Aufbau der Säule	18
Aufgabe 2.3	Mechanischer Aufbau der Säule	22
Aufgabe 2.4	Versorgungs- & Steuerelektronik	22
	Arbeitspaket 3 Strahlstrukturierung & Data Path.....	23
Aufgabe 3.1	Dynamisches Strahlstrukturiersystem.....	23
Aufgabe 3.2	Strukturdaten Präparation	26
Aufgabe 3.3	Strukturdaten Übertragungssystem	26
Aufgabe 3.5	Funktionstest.....	27
	Arbeitspaket 4 Programmierbares Apertur Platten System (APS)	31
Aufgabe 4.1	Vorversuche	31
	Arbeitspaket 5 Tisch und Systemsteuerung	33
Aufgabe 5.1	Wafer-Tisch Optimierung	33
Aufgabe 5.3	Strahlnachführsystem (BTS)	35
Aufgabe 5.4	Tisch-Säule-Synchronisationseinheit (SCSU).....	37
Aufgabe 5.5	Steuersoftware	38
	Arbeitspaket 6 POC Tool Integration.....	38
Aufgabe 6.1	POC-Tool Integration & Test.....	38
Aufgabe 6.2	Lithographietests.....	38
	Zusatzaufgabe Simulation des lokalen Thermoeffekts	38
2.2	Verwertung der Ergebnisse	42
2.3	Einschätzung des Fortschritts der Wettbewerber von PML2.....	43
2.4	Veröffentlichung der Projektergebnisse.....	49
3	Literatur	50

1 Projektrahmenbedingungen

1.1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt „Projection-ML2“ (PML2) beinhaltete die Entwicklung einer neuartigen, hochproduktiven Elektronenstrahl Lithographie Technologie [2]. Die Tragfähigkeit des verfolgten Multi-Beam Konzeptes sollte an Hand einer Prototyp Anlage demonstriert werden.

Verankert im Arbeitsgebiet 2.3.3. des MEDEA+ Technologie Programms [1] stellte diese Entwicklung eine strategische Europäische Anstrengung dar, um eine führende Position bei der Herstellung von Lithographieanlagen für die maskenlose Produktion von integrierten Schaltkreisen (IC) in kleinen und mittleren Stückzahlen (<1000 Wafer pro Design, 300mm) zu erlangen. Der wachsende Anteil von differenzierten und kundenspezifischen ICs am Halbleitermarkt führt weltweit zu wachsendem Interesse an schneller, maskenloser IC Prototyp Fertigung sowie kosteneffektiver Produktion von kleinen und mittleren Stückzahlen.

Die Hauptgründe für die Attraktivität von maskenlosen Lithographieverfahren waren und bleiben der exponentiell wachsende Preis für Fotomaschinen (Maskensatz 65 nm Technologie → 1.7 M\$, Intel, EIPBN-2005) sowie steigende Herstellzeiten von bis zu 100 Tagen.

Das PML2 Konzept beinhaltet ein massiv paralleles Belichtungsverfahren welches bis zu mehrere Millionen Elektronenstrahlen benutzt, um die Strukturzeugung eines Schaltkreis Layouts vom Datenfile auf dem Wafer in kurzer Zeit zu ermöglichen. Im Jahr 2008 war vorgesehen die Produktionsreife dieser Technologie für die 45nm node Lithografie mit einem Durchsatz von 2...5 Wafern/ Stunde mit einem Beta-tool unter Beweis zu stellen.

Die wissenschaftlich technische Aufgabe im Medea+ Projekt T409 bestand darin, zuerst die Machbarkeit einiger Schlüsselbaugruppen zu demonstrieren und dann die Tragfähigkeit des Wirkprinzips komplett nachzuweisen. Letzteres erforderte die Konzipierung und den Aufbau einer geeigneten Prototyp Anlage, POC tool (Proof of Concept tool). Die grobe technische Zielstellung für das POC tool ist nachfolgender Spezifikation (Tab.1) zu entnehmen.

Tabelle 1: Projection-ML2 POC tool Spezifikation

Elektronenenergie am Wafer	100 keV
Auflösung (iso line)	35 nm
Maximales Bildfeld (Durchmesser)	430 µm
Geometrische Sondengröße	25 nm
Sondenunschärfe (5µA)	20 nm
(total, geometrisch + Coulomb blur)	
Aperturen Anzahl (beams)	> 200 000
Anzahl Grauwerte	64
Pixelbild Wiederholrate (toggle rate)	1 MHz
Datenrate	30 Gbit/s
Wafer Tischgeschwindigkeit	25mm/s

Das POC-tool sollte aus Gründen des technischen Risikos sowie möglichst geringer Kosten auf der Plattform der aktuellen Vistec VSB (variable shaped beam) Systeme aufsetzen (SB350). Neben der technischen wie organisatorischen Führungsaufgabe im Projektkonsortium oblag Vistec deshalb die Mitarbeit in allen Arbeitspaketen, die irgendeine Schnittstelle zur vorhandenen Plattform besaßen.

Schwerpunkt der innovativen Arbeit seitens Vistec war die Erarbeitung eines tragfähigen Konzeptes für einen schnellen und hochgenauen Wafer-Tisch, der die Spezifikation des Beta-Tools ($v = 500 \text{ mm/s}$) sicherstellt.

1.2 Voraussetzungen für die Vorhabensdurchführung

Wesentlichste Voraussetzung für die Vorhabensdurchführung des MEDEA+ Verbundvorhabens PML2 (T409) war das Interesse der führenden Europäischen Halbleiter Chip Produzenten ST Microelectronics, Infineon und Philips an einer hochauflösenden, produktionstauglichen Lithografie Technologie, die eine kostengünstige Fertigung von ASIC's mit kleineren Stückzahlen (< 1000 Wafer) ermöglichen kann. STM hatte bereits erfolgreich auf dem Gebiet der schnellen Prototyp Fertigung mittels Elektronenstrahlithografie Anlagen von Vistec (Leica) und inhouse entwickelter Prozesstechnologie für kritische Ebenen die Vorteile der maskenlosen Lithografie unter Beweis gestellt. Als wichtiger Nachfolgeschritt wurde eine deutliche Durchsatzsteigerung für die Elektronenstrahlithografie auf 5...20 Wafer pro Stunde (wph) gefordert. Eine solche Forderung kann nur mit Multibeam Konzepten erfüllt werden.

Eine weitere Voraussetzung für die Projektdurchführung war die Unterteilung des Projektes in zwei Phasen. Hauptziel der Phase 1 war die Demonstration von Schlüsselbaugruppen um das technische sowie finanzielle Risiko für die Phase 2, den Aufbau eines kompletten POC Tools, zu verringern. Nach Abschluss der Phase 1 war es jedem Partner im Verbundvorhaben freigestellt, seine go/nogo Entscheidung zu treffen.

Zum Zeitpunkt des Projektstarts 10/2003 stand weder die Finanzierung noch die Verwertung der Projektergebnisse aus der geplanten Phase 2 fest. Es war die Absicht des Konsortiums die POC Tool Integration und spätere Vermarktung über die Start-Up Firma IMS-Jena durchzuführen und deshalb alles notwendige know-how sowie die erforderlichen Schutzrechte dahin zu überführen. Zur Finanzierung der IMS-Jena war durch den alleinigen Eigentümer, IMS – Ionen Mikrofabrikations Systeme GmbH, mit Sitz in Wien, die Absicht bekundet, Venture Kapital sowie andere Beteiligungen an der Firma einzuwerben.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

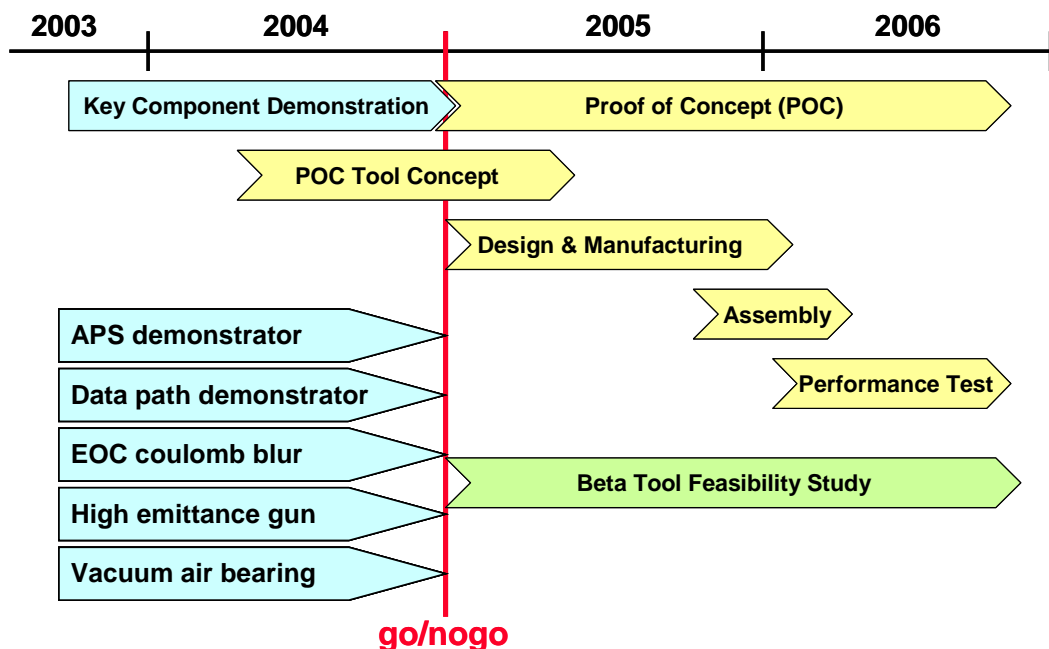


Abbildung 1: Geplanter Ablauf des PML2 Projektes

Die ursprüngliche Gesamtplanung des Verbundvorhabens ist der Abbildung 1 zu entnehmen. Das MEDEA+ Label wurde am 28. Mai 2003 durch die Support Group bis 12/2005 erteilt. Der tatsächliche Projektstart wurde mit dem kick-off Meeting am 21. Januar 2004 in Berlin vollzogen. Mehrheitlich haben die Partner auf eigenes Risiko begonnen, denn der BMBF Zuwendungsbescheid wurde erst am 30. Juni 2004 für den Bewilligungszeitraum 10/2003 – 4/2005 ausgegeben. Als spezifische Regelung wurde ein Statusseminar festgelegt, in welchem 2/2005 über die Fortführung des Projektes in der Phase 2 entschieden werden

sollte (go/nogo). Über einen Change Request wurde um eine Verlängerung des MEDEA+ Labels bis 12/2006 ersucht, der am 3. November 2004 stattgegeben wurde.

Am 21. Februar 2005 wurden in einem Statusseminar unter Beisein des Projektträgers DLR und aller in Phase 1 aktiven Partner die technischen Ergebnisse bewertet. Übereinstimmend wurde von allen Partnern eingeschätzt, dass das verbleibende technische Risiko verantwortbar sei und einer Projektfortsetzung in Phase 2 wurde zugestimmt.

Die Finanzierung, insbesondere die Industriebeteiligung an den Aufwendungen der beteiligten Fraunhofer Institute, war zum Zeitpunkt 2/2005 durch IMS-Jena nicht gesichert. Verhandlungen mit der Carl Zeiss SMT AG zur Übernahme der Führerschaft und wesentlicher Verwertungsrechte waren gestartet worden. 10/2005 erfolgte die Aufstockung der Mittel für Phase 2 durch Zuwendungsbescheid. Obwohl CZ durch bilaterale Verträge in dieser Zeit mit einzelnen Partnern sich Verwertungsrechte sicherte, kam es nicht zur beabsichtigten Übernahme der PML2 Projektführerschaft, wie die SMT AG 3/2006 final entschied.

Begründet durch die nicht gesicherte Verwertung der Projektergebnisse wurde seitens des BMBF ein Teilwiderruf der Zuwendungsbescheide erwirkt. Als Termin für die endgültige Einstellung der Projektarbeiten wurde der 31. März 2006 festgelegt.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

1.4.1 Weltweiter Entwicklungsstand

Das Lithographie Marktsegment für die Wafer Direktbelichtung wurde bisher durch e-beam Schreiber der japanischen Firmen Hitachi und Jeol sowie führend vom Europäischen Anbieter Leica, jetzt Vistec bedient. Die verwendete Teilchenenergie von 50...100KeV garantiert genügend Reserve für die erforderliche Strukturauflösung. Für FE Aufgaben bis zum 22nm Technologie node liegt der Schwerpunkt eher auf der Entwicklung der Resisttechnologie als auf der Weiterentwicklung von Schreibern. Zunehmend problematisch ist die Schreibzeit für einen Wafer, die für kritische Ebenen (z.B. Metallisierung) selbst mit VSB (variable shaped beam) Schreibern heute (65...90nm Design, 300 mm Wafer) je nach Strukturdichte bis zu 15 Stunden beträgt. Eine Bauelementefertigung selbst in kleinsten Stückzahlen ist deshalb heute nur in sehr begrenzten Anwendungsfällen möglich, wenn wenige kritische Ebenen und diese mit einer geringen Datendichte zu schreiben sind.

Dem Ziel der Entwicklung einer maskenlosen Lithografie Technologie mit 2...20 Wafers (300 mm) pro Stunde Durchsatz werden weltweit wenigstens 3 weitere wesentliche Projekte, neben dem hier vorgeschlagenen, gewidmet:

- **MAPPER (Multi-Aperture Pixel-by-Pixel Enhancement of Resolution)**

Mapper Lithography / Niederlande

Patentschriften: WO 2005/010618 A2, Modulator Circuitry

US 6,958,804 B2, Lithography System

- **SLM Writer (Spatial Light Modulator)**

Micronic / Schweden

Patentschriften: US 6,285,488, Pattern generator for avoiding stitching errors

- **MEBDW (Multi-e-beam Direct Write)**

Canon / JP

Patentschriften: US 5,905,267, US 5,981,954, Electron beam exposure apparatus and method of controlling same