Maastricht University

Fortunes of High-Tech

Citation for published version (APA):

van Duijn, J. (2019). *Fortunes of High-Tech: A history of innovation at ASM International, 1958-2008*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Wilco. https://doi.org/10.26481/dis.20191122jv

Document status and date:
Published: 01/01/2019

DOI:
10.26481/dis.20191122jv

Document Version:
Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

• A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
• The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
• The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

Link to publication

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

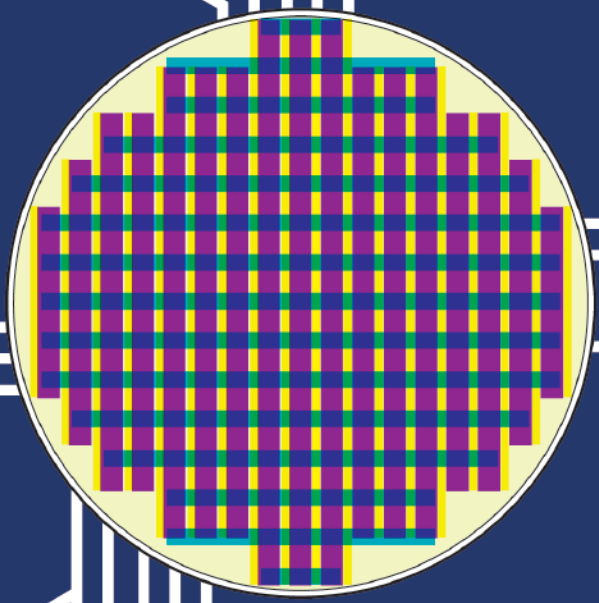
providing details and we will investigate your claim.

Download date: 19 Apr. 2024

FORTUNES OF HIGH TECH

A HISTORY OF INNOVATION AT ASM INTERNATIONAL 1958 -2008

APPENDIX



JORIJN VAN DUIJN

An appendix to

FORTUNES OF HIGH-TECH

A HISTORY OF INNOVATION AT ASM INTERNATIONAL, 1958-2008

JORIJN VAN DUIJN

Een bijlage bij

LOTGEVALLEN VAN HIGHTECH

EEN GESCHIEDENIS VAN INNOVATIE BIJ ASM INTERNATIONAL, 1958-2008

PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad van doctor aan de Universiteit Maastricht,
op gezag van de Rector Magnificus, Prof dr. Rianne M. Letschert
volgens het besluit van het College van Decanen,
in het openbaar te verdedigen
op vrijdag 22 november 2019 om 12 uur

door

JORIJN VAN DUIJN

Promotores

Prof. Dr. Ir. Harro van Lente

Prof. Dr. Dirk van Delft (Leiden Universiteit)

Beoordelingscommissie

Prof. Dr. Cyrus Mody (voorzitter)

Prof. Dr. Ernst Homburg

Prof. Dr. Keetie Sluyterman (Utrecht Universiteit)

Prof. Dr. Erik van Vleuten (Technische Universiteit Eindhoven)

Deze studie is mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van Arthur del Prado en na diens overlijden Stichting ADP. ASM International, Maastricht Universiteit en het WTMC hebben de publicatie financieel ondersteund.

Table of contents

Theses **8**

Theses 8
Stellingen [in Dutch] 10

Dutch summary **13**

Valorization **21**

Biography **25**

Theses

1. A high-tech innovator in a dynamic playing field such as that of the semiconductor industry cannot successfully compete without pursuing decentralization, diversification, and application-oriented research.

2. Arthur del Prado's unique personal character and his decades-long management defined ASM's onconventional development and growth within the semiconductor industry. That which is unique will always make a difference.

3. High-tech innovation, in particular the pursuit of Moore's Law, fits within a wider trend in which process innovations are valued more highly than product innovations. The recent increase of product innovations, then, heralds a new phase of industrial development.

4. Innovation in the world of high-tech will always take place step by step, due to the high probability of constructive as well a disruptive contingencies ensuing from the complex dynamic environment involved. Bundling or skipping steps in a high-tech innovation process is difficult, if not impossible.

5. It is hardly productive to study the history of innovation without paying attention to the organizational contexts of innovation, while in the case of high-tech innovation the reverse is true as well.

6. Those in science, business, and government should actively explore and consistently stimulate possibilities for scholarly research of contemporary business- and technology histories.

7. Oral history has a constructive function prior to and in conjunction with archival research of primary resources.

8. Close consideration of industrial growth and dynamics should be a structural element of strategizing by high-tech enterprises.

9. The wave of process innovation, aimed at raising the semiconductor industry's productivity and efficiency, has in fact been a pan-industrial phenomenon since the 1970s. This notion sheds a different light upon the pervasive argument that the rate of innovation has been on the decline since the 1970s (cf. Gordon, 2016, *The Rise and Fall of American Growth*).

10. In the current globalized and highly specialized scientific community, any effort at pushing the boundaries of scientific knowledge requires careful preparation and, above all, courage.

11. Industriousness brings the world to ruin.

Stellingen

1. In het dynamische speelveld van de chipindustrie zijn decentralisatie, diversifiëring en toepassingsgericht onderzoek bepalende kenmerken van een hightech innovator.

2. Arthur del Prado's unieke karaktereigenschappen en zijn langdurige bestuursperiode bij ASM hebben de onconventionele volgroeiing van deze onderneming binnen de chipindustrie bepaald. Het unieke doet ertoe.

3. Hightech innovatie in de chipindustrie, en dan met name het nastreven van de Wet van Moore, past binnen een tendens waarin productiegerichte innovatie economisch hoger gewaardeerd wordt dan productinnovatie. De huidige toename van productinnovaties in de chipindustrie luidt dan ook een nieuwe fase in.

4. In hightech innovatie is het moeilijk ontwikkelingsstappen over te slaan dan wel te bundelen. Gezien de grote waarschijnlijkheid van het optreden van zowel constructieve als disruptieve contingenties – inherent aan de complexe dynamische omgeving – verloopt hightech innovatie stap voor stap.

5. Geschiedschrijving van innovatie kan niet zonder aandacht voor de organisatorische context ervan, en in het geval van hightech innovatie is het omgekeerde ook het geval.

6. Voor zowel academie, bedrijfsleven als overheid ligt er een taak om de mogelijkheden tot historisch onderzoek van hedendaagse bedrijfs- en techniekgeschiedenis voortdurend en actief te blijven verkennen en bevorderen.

7. Oral history heeft een constructieve functie, zowel voorafgaand aan als tijdens het archiefonderzoek van primaire bronnen.

8. De mate van 'industriële volgroeiing en dynamiek' is een onmisbare factor bij strategievorming.

9. Net als binnen de chipindustrie vormt de 'golf van productie-innovaties' – waarin innovaties op het vlak van productiviteit en efficiëntie prevaleren – vanaf de jaren '70 een pan-industrieel fenomeen. Dit feit werpt een ander licht op de visie dat innovatie na de jaren '70 is afgenomen (cf. Gordon, 2016, *The Rise and Fall of American Growth*).

10. Het verzetten van bakens in de huidige sterk geglobaliseerde en gespecialiseerde wetenschappelijke wereld vereist naast gedegen voorbereiding vooral lef.

11. De wereld gaat aan vlijt ten onder.

Samenvatting

Grensverleggende innovaties bepaalden de digitale revolutie van de afgelopen halve eeuw. Deze vernieuwingen waren niet vanzelfsprekend. Ze betroffen in de eerste plaats mensenwerk. Een wereldwijd speelveld van ondernemers, techneuten, wetenschappers, investeerders, ambtenaren en consumenten stimuleerde inventiviteit mede vanuit zakelijke, intellectuele, sociale en politieke motieven. Bovendien dijde deze wereld vol dwarsverbanden steeds verder uit. Nieuwe technologieën resulteerden in nieuwe toepassingen, vormden nieuwe markten, nieuwe realiteiten en raakten nieuwe groepen mensen.

Fortunes of hightech verkent de dynamiek van hightech- innovatie. Hiertoe richt de blik zich op de machinaties van de digitale revolutie. Letterlijk. Technologische innovaties culminerend in de computerchip – spil van de digitale revolutie – staan centraal. Ze betreffen de machines die fysieke materialen – glas, aluminium en zand – geschikt maken om informatie te kunnen verwerken. Door de geschiedenis van de Nederlandse chipmachinefabrikant ASM International te volgen, worden de lotgevallen van hightech inzichtelijk.

Deze onderneming, vele jaren geleid door diens illustere oprichter en bestuursvoorzitter Arthur del Prado, beslaat de volledige geschiedenis van de chipindustrie. In de tijd: van 1958 tot op heden. Over de hele wereld: van Nederland via de Verenigde Staten tot Japan. En vrijwel de volledige keten van chipproductie-technologieën komt langs, van lithografie, atoomlaagdepositie tot verpakkingstechnieken. De geschiedenis van ASM is een geschiedenis vol successen, tegenslagen, baanbrekende innovaties en strategische lessen, een geschiedenis ook vol sterke persoonlijkheden.

Fortunes of hightech ambieert inzicht te bieden in de dynamiek van hightech-innovatie. Centraal staat de volgende vraag:

> Hoe zijn de innovatieprocessen bij ASM International in de periode 1958-2008 te verklaren en te karakteriseren?

Deze tijdsperiode valt samen met de bestuursperiode van Arthur del Prado bij de onderneming. Bij het onderzoek is geput uit Del Prado's omvangrijke persoonlijke archief, aangevuld met 85 interviews met direct betrokkenen. Aldus presenteert deze studie uniek en nieuw historisch materiaal over een industrie

en onderneming die tot dusver niet of nauwelijks in academische studies aan bod zijn gekomen.

Het onderzoekskader

Hightech-innovatie komt niet als donderslag bij heldere hemel, het is het resultaat van de bereidheid om een toekomst vol contingenties (niet noodzakelijke mogelijkheden) te omarmen en naar je hand te zetten. De chipindustrie kent een uitgesproken dialectiek van orde en wispelturigheid. Aan de ene kant zijn de markten volatiel (volop in beweging) en gaat het allesoverheersende belang van technologische innovatie gepaard met een grote mate aan onzekerheid. Aan de andere kant: de productie van ongekend kleine transistoren kenmerkt zich door notoir strikte, uitvoerig uitgewerkte procedures en vereisten, aangevuld met een gedetailleerde financiële verantwoording richting investeerders. Koersen uitzetten en houden in een complexe, geglobaliseerde en competitieve omgeving als die van de chipindustrie is geen sinecure.

Datzelfde geldt voor het onderzoeken van een dergelijke dynamische omgeving. Een passend conceptueel kader is dan van groot belang. Hiertoe sluit deze studie aan bij een rijke traditie van sociale en economische wetenschappelijke studies die innovatie als een evolutionair proces beschouwt, gestuurd door variatie en selectie en onderhevig aan talloze invloeden, factoren en krachten.

Bij de analyse van dit krachtenveld onderscheidt dit onderzoek drie elementen met daaraan gerelateerde bestaande concepten uit de academische literatuur. Het eerste element vormt *pad*. Dit behelst regelmaat binnen het innoveren en bedrijfsvoering. Binnen pad vallen zaken als padafhankelijkheid, organisatorische routines en strategievorming. Het tweede element is *fortuna*. Dit omvat het onverwachte, contingenties, crises en toeval; kortom, datgene dat de regelmaat – pad – doorkruist. Het derde element, *virtù*, brengt pad en fortuna in evenwicht. Virtù betreft de kunst en bereidheid om oorspronkelijke plannen en middelen (pad) in overeenstemming te brengen met een nieuwe onverwachte realiteit (fortuna).

Fortunes of hightech behandelt de ontwikkelingen van ASM International in chronologische volgorde, en wel in afwisselend innovatie- en businesshoofdstukken. De innovatiehoofdstukken beschrijven de totstandkoming van enkele ASM-innovaties in opdampapparatuur, zoals 'chemical vapor deposition', epitaxy, clustermachines en atoomlaagdepositie. In de businesshoofdstukken draait het om de organisatorische en industriële ontwikkeling van ASM. Daarnaast besteden deze aandacht aan de zakelijke en strategische manoeuvres van Del Prado in reactie op de immer veranderende organisatorische, technologische en industriële omgeving.

De chipindustrie

Zoals gezegd, opereert ASM International in de wereldwijde chipindustrie. Die industrie, variërend van chipproducenten en machinefabrikanten tot materiaalleveranciers, richt zich op het manipuleren van halfgeleidende materialen, in het bijzonder silicium. Doel van de chipindustrie is het produceren van snellere, betere chips.

Verbeteringen kwamen voornamelijk tot stand door de onderdelen op een chip, met name transistoren en condensatoren, te verkleinen. Het tempo van die verkleining volgt de zogeheten 'Wet van Moore'. Deze sociaaleconomische vuistregel stelt dat ongeveer elke 18 maanden de hoeveelheid transistoren op een chip verdubbelt. Het kunnen aansluiten bij de Wet van Moore, ongeacht voorziene fysische en organisatorische barrières, bepaalt het concurrentievermogen van chipfabrikanten.

De productie van nieuwe chips – met steeds kleinere transistoren – vereiste voortdurend nieuwe fabricagetechnologieën. De benodigde technieken en vaardigheden voor het maken van een chip zijn in minder dan een mensenleven (de uitvinding van de transistor dateert van 1947) in ongekend tempo aangepast, vernieuwd en verbeterd.

Nieuwe en betere chips leiden tot nieuwe toepassingen. Denk aan de opkomst van de elektronische rekenmachines in de jaren zeventig, de personal computer vanaf de jaren tachtig, het internet rond de eeuwwisseling en smartphones vanaf 2007. Op hun beurt stuwen deze nieuwe toepassingen de verkoop van chips en daarmee ook de productiemachines voor die chips. Het uitzicht op nieuwe applicaties maakt het nastreven van de Wet van Moore lonend.

In lijn met een schommelende economische conjectuur staan zowel chip- als chipmachinefabrikanten vaak gelijktijdig stil, of hollen ze *en masse* vooruit. Voor chipmachinefabrikanten is het de kunst deze volatiele, onvoorspelbare wateren veilig te doorkruisen, en daarbij de benodigde investeringen in nieuwe technologieën ten behoeve van nog kleinere transistoren veilig te stellen.

Een karakterisering en verklaring van ASM's innovatieprocessen

De geschiedenis van ASM International weerspiegelt de technologische dynamiek, multinationale verankering en de aanhoudende belofte van voorspoed die kenmerkend zijn voor de chipindustrie. Toch volgde binnen de chipindustrie ASM haar eigen pad. In sommige gevallen, kon de onderneming met haar licht onstuimige en brutale bedrijfsvoering concurrenten de loef afsteken. Op andere momenten was het juist deze assertieve ongebonden managementstijl die de onderneming ondermijnde en verhinderde dat ASM haar potentieel volledig kon benutten.

De eerste activiteiten van ASM borduurden voort op de beginactiviteiten van Arthur de Prado in de halfgeleiderindustrie, namelijk het verkopen van silicium. Vandaar ook de naam 'Advanced Semiconductor Materials'. Niet snel na de oprichting als eenmanszaak in 1964 breidde Del Prado de activiteiten uit tot de verkoop van andere producten voor chipfabricage. In 1971 startte de onderneming de productie en ontwikkeling van eigen machines, opdampovens en later ook verpakkingstechnieken. ASM internationaliseerde snel met kantoren in West-Europa en divisies in Hong Kong, de Verenigde Staten en Japan. Na verloop van tijd groeide ASM uit tot een toegewijde leverancier van machines voor de chipindustrie, waarbij de karakteristieken van een eigengereide verkoper in zekere mate behouden bleven.

Als machinefabrikant omvatte ASM's innovatieproces zes aspecten, waarvan sommige de ondernemingsstrategie sterk overlapten. Allereerst opereerde ASM geografisch gesproken dicht op haar klanten – de chipfabrikanten. ASM vestigde zich op locaties waar al een industrie bestond, met een eigen kantoor en met bij de lokale markt passende activiteiten. Een en ander resulteerde in een sterk gedecentraliseerde onderneming. In de tweede plaats spitste ASM haar technologieontwikkeling toe op concrete vragen van de klant. Ten derde ontbeerde ASM een substantieel onderzoekslaboratorium. De machinefabrikant deed niet aan fundamenteel onderzoek maar innoveerde zeer toepassingsgericht in onderzoekscentra van de verschillende divisies. Ten vierde: om haar onderzoekinvesteringen terug te verdienen had de onderneming belang bij een brede toepasbaarheid van door haar ontwikkelde technologieën. In de vijfde plaats stelde diversifiëring van het productaanbod de onderneming in staat zich te voegen naar een voortdurend veranderende klantenvraag. Inkomsten uit lopende producten konden ingezet worden voor de bekostiging van nieuwe innovaties. En tot slot, ASM's innovaties borduurden voort op innovaties van buiten. De machinefabrikant industrialiseerde onvolgroeide, onbewezen doch veelbelovende nieuwe fabricagetechnologieën.

Met haar toepassingsgerichte innovatiepraktijk vormde ASM het schoolvoorbeeld van de nieuwe innovatierealiteit zoals deze zich eind jaren '70, begin jaren '80 aandiende. Waar de gevestigde hightechondernemingen als Philips en AT&T innovaties in laboratoria voor fundamenteel onderzoek cultiveerden (Nat.Lab., Bell Labs) beperkte ASM zich tot onderzoekscentra van de productgroepen zelf. Deze innovatiepraktijk vloeide voort uit het verleden als agentschap en had te maken met de context waarbinnen de onderneming tot wasdom was gekomen.

Op basis van nieuwe mogelijkheden, een veranderende omgeving en wisselende beschikbare bedrijfsmiddelen was de onderneming voortdurend bezig haar innovatiepraktijk aan te passen en te verbeteren. Een latere poging om die praktijk via een centraal technologiecentrum te optimaliseren liep op niets uit.

Een belangrijk inzicht van deze studie is dat ASM's innovatieprocessen ondergeschikt waren aan de eisen en belangen van de chipfabrikanten. De machinefabrikant was, zeker in het begin, niet in staat direct aan de nieuwste (veronderstelde) eisen van de klant tegemoet te komen. In plaats daarvan droeg ASM oplossingen waarvan het bedrijf verwachtte ze te kunnen realiseren. Beloftes gingen aan daadwerkelijke vaardigheden vooraf. ASM was een 'enactor', een protagonist van zelfbedachte nieuwe variaties en technologische mogelijkheden. Concurrenten, overheden, onderzoeksinstituten, en materiaalleveranciers vervulden een vergelijkbare rol.

Chipfabrikanten daarentegen selecteerden uit de veelheid van technologische variaties de oplossing die het beste aansloot bij hun probleem. Zij vervulden de rol van 'selector'. Op hun beurt waren chipfabrikanten zelf weer enactors richting hun klanten.

Voor een onderneming als ASM was het van belang zo vroeg mogelijk in het innovatieproces de klant erbij te betrekken. Dit kon door middel van een 'joint-development program', maar ook in het kader van overheidsprogramma's. Met oog op nationale belangen stimuleerden overheden samenwerking tussen enactors en selectors. Chipfabrikanten als Philips en Siemens werkten samen met ASM aan een technologie die de internationale positie van die bedrijven – en daarmee van de Europese industrie – zou moeten versterken. In het specifieke geval van nieuwe industriestandaarden, die eind jaren '80 opkwamen, betrof dit spel meerdere nationale overheden, industrieën en bedrijven. Bij samenwerkingen tussen chip- en machinefabrikanten ontstond een keten aan enactors – ASM, de chipfabrikant en eventueel overheden. Het welslagen van het innovatieproces was afhankelijk van de selector in de volgende keten: de klant van de chipfabrikant.

Zonder nauwgezet te luisteren naar concrete wensen en specificaties van haar klanten kon ASM zich geen kennis en vaardigheden eigen maken. Voor de troepen uithollen was vragen om commerciële mislukkingen. Bovendien lieten de bedrijfsmiddelen nauwelijks fundamentele of verkennende natuurwetenschappelijke activiteiten toe. Jaar na jaar, innovatie op innovatie, breidde de onderneming haar expertise op het vlak van chipfabricage uit.

ASM was een multidivisionele onderneming, ze omvatte een hoofdkantoor en verscheidene wereldwijd gevestigde divisies. De sterk decentrale structuur van de onderneming weerspiegelde de geografisch en technologisch verspreide markten. Het hoofdkantoor, ASM International, hield zich bezig met strategievorming, het opzetten van een organisatiestructuur, en het toewijzen van financiële middelen, technologie en personeel. Dit alles was ondergeschikt aan hetgeen de dochterondernemingen aan commerciële en technologische activiteiten ondernamen. Slechts door schade en schande ondervonden Del Prado en consorten dat een succesvolle bedrijfsstrategie de verscheidene tactieken van de

divisies versterkte. Naarmate de onderneming groeide en afstemming tussen de verscheidene activiteiten noodzakelijk werd, vond strategievorming steeds meer plaats op het hoofdkantoor.

De oplossingen voor strategische kwesties waren een kind van hun tijd. De inzichten van het management volgden, en sloten aan bij, de laatste ideeën en concepten van managementgoeroes. De organisatorische problemen waarmee ASM kampte traden meer in het algemeen op bij het besturen van multidivisionele ondernemingen.

Het pad dat ASM volgde past in een bredere tendens waarin het relatieve belang van productiegerichte industriële innovaties prevaleerde boven dat van productgerichte innovaties. Eind jaren zestig diende zich in de chipindustrie een dominant ontwerp van een chip aan, te weten een in silicium geïntegreerde schakeling bestaande uit zogenaamde polysilicium-gate transistoren. De daaropvolgende jaren, richtte innovatie zich voornamelijk op het zo efficiënt mogelijk produceren van deze chips en transistoren. De Wet van Moore past in deze tendens

De observatie dat de gang van zaken binnen ASM past binnen de industriële trend van productiegerichte innovaties, verklaart de groei van de markt voor het bedrijf en het zich voordoen van technologische kansen. Zolang deze 'golf van productie-innovatie' doorrolde, en zolang producten chipfabrikanten in staat stelden om productiever te opereren, konden ASM – en haar bestuursvoorzitter Arthur del Prado – er vertrouwen in hebben dat haar innovaties commercieel vatbaar zouden zijn. De visionaire kwaliteiten, vaak toegeschreven aan Arthur del Prado, waren geworteld in een intuïtieve waardering van ASM's participatie in de 'golf van productie-innovaties'.

Gedurende ASM's geschiedenis manifesteerde *fortuna* zich op individueel, industrieel, economisch, organisatorisch, financieel, overheids-, concurrentie en materieel niveau. Op technologisch niveau vormden met name onverwachte gebeurtenissen op materieel niveau aanleiding tot het overwegen van nieuwe oplossingen: innovaties. Op organisatorisch niveau waren enkele gevallen van fortuna dusdanig disruptief dat ze het voortbestaan van de onderneming bedreigde – en daarmee alle vooronderstelde zekerheden tenietdeden. Zulke onverwachte gebeurtenissen vereisten nieuwe, innovatieve oplossingen, met grote impact op de onderneming. Denk hierbij aan het aanpassen van ambities, het afstoten van divisies en het betrekken van nieuwe financiers.

Naarmate de industrie – en in mindere mate de onderneming zelf - meer volgroeid raakte, nam de invloed van fortuna af. Ten behoeve van investeerders, bestuurders, klanten en medewerkers werden machinefabrikanten als ASM

steeds meer geacht voorbereid te zijn op de cyclische natuur van hun markt. In die zin smeedde fortuna het proces van volgroeiing voor bedrijf en industrie.

Binnen het hier gepresenteerde onderzoek betrof *virtù* vooral ondernemerschap, technologische ontwikkelingen en een enkele keer assertieve ambtenaren. Met name in de eerste jaren, de periode 1971-1978, toen de onderneming de overstap naar machinefabrikant maakte, speelde virtù een belangrijke rol. Ieder nieuw product was bij eerste oplevering een sprong in het diepe. Waarop kennis en inzichten relevant voor de nieuwe activiteit – bijvoorbeeld het ontwikkelen en produceren van horizontale opdampovens – beklijfde, en kennis accumuleerde. Met name de R&D-labs groeiden uit tot leerstations voor de onderneming, zij het gedecentraliseerd en in toenemende mate productgespecialiseerd.

De relatief kleine onderneming, vaak met te weinig financiële slagkracht, was sterk afhankelijk van de vindingrijkheid van medewerkers. De afwezigheid van strakbepaalde procedures maakte ondernemerschap en het etaleren van behendigheid mogelijk, maar bood de medewerkers tegelijk weinig organisatorische en professionele ondersteuning. Del Prado was niet het type bestuurder dat zich met het dagelijkse management bezighield.

Binnen ASM opereerden de meeste actoren hoogst rationeel; solide empirisch vastgestelde feiten lagen aan het merendeel van de beslissingen ten grondslag. Niettemin hielpen conventies en routines om op kritische momenten hiaten in kennis op te vullen. Dergelijke conventies behelsden voorlopige technologische verklaringen en markteconomische voorspellingen. Het innovatieproces zelf vormde in de regel de ultieme lakmoesproef voor deze conventies.

Het moge duidelijk zijn: virtù werd bepaald door een zekere mate van rationaliteit, betrekking hebbend op particuliere bewuste en onbewuste vaardigheden van de innovators. In een situatie van absolute chaos en verbijstering vielen innovators terug op opgedane ervaringen en vaardigheden. Pas het daadwerkelijk ondernemen van actie geeft zicht op structurele en relevante normen en regels.

Geconfronteerd met onverwachte gebeurtenissen, ten goede of ten kwade, bleek Del Prado's virtù keer op keer sterk ingebed in zijn vertrouwen in industriële groei en in zijn persoonlijke bedrijfsfilosofie. Hoe langer hij bestuursvoorzitter was, hoe meer Del Prado in dit vertrouwen gesterkt werd, ondanks talloze tussentijdse dramatische wendingen. Niettemin, tijdens de crisisjaren 1992-1995 bleek het voortbestaan van de onderneming af te hangen van andermans handelsvermogen – en niet van Del Prado's virtù. In die noodsituatie bleken de ervaring, intuïtie en vaardigheden van interim-operationeel directeur Ray Friant onontbeerlijk.

Als grootaandeelhouder, bestuursvoorzitter en oprichter domineerde Del Prado de besluitvoering – en daarmee had ook zijn virtù de overhand.

Pas naarmate zijn eigenaarschap taande, de omvang van ASM toenam en meer externe belanghebbende partijen bij het bedrijf betrokken raakten, werden Del Prado's bevoegdheden aan banden gelegd. Het contrast tussen de oorspronkelijke onstuimige manoeuvres van de ondernemer in de jaren zestig en het aanhoudende aandringen op het naleven van 'corporate governance'-richtlijnen door aandeelhouders in 2008 is in dit verband illustratief.

Ondanks de dwingende omstandigheden opgelegd door industrie, organisatie en belanghebbende, ontsnapte ASM aan het lot dat menige veertigjarige onderneming, opererend in een geconsolideerde, volgroeide industrie, treft. De karakterisering van ASM door een geïnterviewde als 'veertigjarige puber' was *spot-on*. Net als een puber, was ASM zich bewust van de gestructureerde bedrijfsomgeving van de 21ste eeuw, maar trachtte ze desondanks constant haar eigen weg te weg te vinden. Het ogenschijnlijke vertrouwen van de onderneming om al haar fondsen en inkomsten te benutten voor nieuwe innovaties – *leveraged innovation* – vormde de kern van het escalerende dispuut tussen activistische aandeelhouders en ASM's management in de periode 2005-2013.

Het onbesuisde en dynamische imago van ASM is ontegenzeggelijk ontsproten aan het karakter van haar oprichter en bestuursvoorzitter. Zo goed als Arthur del Prado ASM vormde, vormde de onderneming hem. Gedurende de geschiedenis van ASM fungeerde Del Prado in toenemende mate als katalysator voor verandering, via het stimuleren van innovatie en het cultiveren van virtù.

Dit onderzoek verkende hightech-innovatie, zowel vanuit een zakelijk als technologisch invalshoek. Ogenschijnlijk ongerelateerde ontwikkelingen binnen de multidivisionele onderneming ASM raakten kriskras binnen het bedrijf het werk van techneuten. Door zowel de bedrijfsvoering als de innovatiepraktijk te bestuderen, en wel in een industriële context, komt de interactie tussen deze aspecten aan het licht. Deze bredere context is noodzakelijk. Niet zozeer om de impact of waarde van deterministische tendensen te nuanceren, maar vooral om het dynamische speelveld van hightech-innovatie in zijn geheel te kunnen omvatten. Met dat doel completeert aandacht voor het overwegen van regelmaat, voor lotgevallen en voor aanpassingsvermogen – pad, fortuna en virtù – de analyse. Innovatieprocessen betreffen immers vooral gedegen voorbereiding, contingenties en onvoorbereide actie.

Valorization
–
Rallying solutions to problems

Nearly a thousand pages of intellectual expositions, subtle differentiations, and complex story lines require some sort of a shortcut. I am fully aware that most professionals in big corporations, start-ups and government lack time to distill relevant lessons of this expansive study. To meet this demand in this valorization, I will answer a burning question: What are the benefits of this study?

The answer could be given in many ways, but I think it is helpful to follow one particular theme from this history of innovation, which aligns to the omnipresent realities of current high-tech industries. One of the benefits of this studies is that it shows how an high-tech enterprise survived over fifty years. A remarkable accomplishment. To that end, the company – ASM International – had to be resilient or robust enough to weather change. Below, I will elaborate upon this characteristic, the robustness to endure change.

Some conditions to overcome anxiety in high-tech innovation

Getting an understanding of change is most relevant for society as a whole. To enforce this argument, I quote the virtuoso of popular history, Stephen Fry:

> 'Change, transformation, mutation, cultural evolution, these are our weather systems. Our historical and future landscapes were and are shaped by these processes. Just as our geographical landscapes are shaped by the action of water and weather. To believe that we could or should hold them, or to waste time mourning the existential alterations to our ways of living, is to put it crudely, to piss into the wind.'[1]

High tech is the forefront of change. In many ways, high-tech industries pioneered new technologies, business practices and social dynamics. This study has tried

[1] Stephen Fry, 'A Faustian Pact', Podcast series: *Stephen Fry's Great Leap Years – The stories behind inventions* (16-4-2018 by SamFry Limited), fragment at 46.14.

to come to terms with the dynamics of high-tech innovation, and by doing so offering some sort of grip upon our historical and future landscapes.

Getting a grip on change is priceless. Especially, within the context of high-tech innovation, in which uncertainty about a successful conclusion of the endeavor often seems endemic. Consider some of the most talked-about technological projects in the Netherlands. One prime example is the protracted effort to industrialize extreme ultra-violet lithography by ASML, taking almost twenty years, requiring a radical overhaul of the company and billion euro's in investments. Another is the courageous, astonishing yet unfortunate effort by Mapper to commercialize their unique parallel e-beam lithography machine, taking also twenty years and over 200 million euro in investments. Or take into account the advanced and still open-ended projects like the Delft Hyperloop or the quantum technology of QuTech. The ambiguity embedded in these examples stirred anxiety among the involved entrepreneurs, engineers, public officials, and investors.

After all, the time required to commercialize an invention makes high-tech innovation vulnerable to dramatic and unexpected changes. In this process, the biggest risk is that the pursued market-need does not materialize. Would all the efforts put in the innovation ever yield a profit? And would the enterprise succeed in sustaining the financial backing for the endeavor? These concerns were and are not without cause. In fact, on top of the list for reasons why start-ups fail stands 'no-market need', followed by 'ran out of cash'.[2] Both of these phenomena are of particular relevance to high-tech enterprises, as their products command advanced technological competences and require significant financial resources.

In respect to this common feature of high-tech innovation, this study shows that ASM International regularly engaged in innovation projects characterized by rapidly changing circumstances and market-needs.[3] In all these examples, the time-to-market or final application proved more volatile than expected. This even accounts for some of the processes developed in the proven product lines like epitaxy, vertical furnaces and plasma enhanced chemical vapor deposition. So, how did ASM International sustain its innovation processes, and overcame uncertainties about the market-need?

---

[2] Data follows from a qualitative post-mortem analysis of 101 failed start-ups, executed by business intelligence agency CB Insights. – CB Insights, 'The Top 20 Reasons Startups Fail', *cbinsights.com* (2-2-2018) https://www.cbinsights.com/research/startup-failure-reasons-top/ (viewed: 24-9-2019).

[3] This observation accounts for aluminum chemical vapor deposition (1981-1992), the initial lithography machines of ASML (1983-1989), the A600 cluster reactor (1987-1999), atomic layer deposition (1999-2007), plasma enhanced atomic layer deposition (2001-2011), Nanophotonics' integrated metrology (1999-2008), and NuTool's (2001-2006).

A short answer to this question involves the art of securing time and money. To sustain exploration of new technologies, Arthur del Prado – the founder and chief executive officer of ASM International – leveraged both internal and external assets. Here, I will elaborate a bit further upon two groups of assets.

Internal leveraged pertained to harnessing the benefits of diversification of products and motivation among staff. ASM International had been a diversified company from its early beginnings, and this organizational structure was a clear asset. Through the strategy of diversification earnings of yet commercialized products were staked in the development of new ones. It was a strategy that gained prominence through the works of management scholar Clayton Christensen in his book *The Innovation Dilemma in 1997*.[4] Yet it had been a strategy observed by Del Prado since the 1970s. Back then, Del Prado invested the earnings of his sales agency – profits made by selling products with a clear market-need – in the development of new innovations. Furthermore, over the course of its history, ASM learned that to sustain 'moonshot innovation schemes' cash was truly king. Seeing high-tech innovations through required an internal source for cash. Proven products generated that cash.

Internal leverage also involved empowering the staff members. The absence, or volatility, of market-need cultivated ingenuity, creativity, perseverance, and inventiveness. To this end, ASM consisted of various small divisions. Each of these subsidiaries were granted significant autonomy to pursue their successes through their own innovations. Whether in ASM Lithography, ASM Europe, ASM America or ASM Microchemistry, engineers and managers were all in it together to prove the viability of their technology. The intrinsic ingenuity, curiosity and strive among engineers were a crucial asset in the effort of seeing an innovation through.

Leveraging external assets concerned external funding, customer support and benevolent industry dynamics. The most obvious way to see a project of high-tech innovation through was to secure financial backing from investors. This could be done through venture capital, public offerings, and loans. In the case of ASM, the company employed loans and public offerings for the benefit of its innovations.

Throughout the history of ASM International in which the company engaged too many ambitious innovation projects simultaneously, this way of external leverage proved to be problematic. Most of these funds required some loss of control; selling shares, offering a position in the board, etc. Whenever anxiety or

---

[4] Clayton Christensen, *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail* (Harvard Business Review Press, Boston, 1997); In his second book, Christensen elaborated on the same theme: Clayton Christensen and Michael Raynor, *The Innovator's Solution: Creating and Sustaining Successful Growth* (Harvard Business Review Press, Boston, 2003); Bower and Christensen, 'Disruptive Technologies'.

concern about the feasibility of the business and innovations seized the investors, the continuation of the innovation process got endangered.

Another method of external leverage was to get customers involved in the project. Almost in every case, ASM tried to attract the interest or commitment of customers for its new products as soon as possible. Most often, this was done through joint-development programs, in which ASM developed new technologies together with a customer. The more a customer was invested in ASM's technologies, the better the chance for commercial success. Such interaction resulted in quick harmonization between supply and demand. Yet, ASM also selected the technologically leaders to cooperate with, since that cooperation might result in spill-over effects to lagging customers elsewhere.

In case of ASM, a third external leverage was of significance, and that was the company's adherence to benevolent industry dynamics. In particular, this involved the famous Moore's Law – stipulating the doubling of transistors, and thus computing power, every 18 months. As long as ASM's innovations enabled the production of smaller dimensions on a computer chip, its uncertain endeavors might attract some interest of the industry eventually. Smaller was always better. The obedience of ASM's innovations to Moore's Law took away anxiety about its innovations; it showed the relevancy of the complex technological projects to a wider audience.

Moreover, in the study I argue that the famous and often misinterpreted Moore's Law was part of a wider process of industrial maturation. The past fifteen years, fewer suppliers and manufacturers in the semiconductor industry command the knowledge and resources to continue miniaturization of transistors in line with Moore's Law. Within these circumstances, securing market interest for new innovations became increasingly difficult. Only the technological leaders remained, thus reinforcing the benefit of concentrating cooperation to the technological leaders.

To conclude this valorization addendum and offering the professional reader some practical advice, I will reduce these insights into two major points, which may sound trivial but they proved key to the fate of ASM. The first is to generate cash as quick as you can. Cash is king and with these funds you can extend your activities towards more ambitious ones, step by step. The second is to be aware of the industrial dynamics from the start. Competing an already mature industry is tougher than an uphill battle, even for established companies let alone for start-ups. If you think, these statements are laboring obvious points and can easily be followed, I cordially invite you to read the rest of the manuscript and wallow in the wonderful stories, nuanced insights and strategic lessons.

Biography

Jorijn van Duijn (October 28th, 1988, Rotterdam) graduated in history (BA, 2011) and international relations (MA, 2013). During his studies, he specialized in business history, the relation between business and governments at a (inter)national level, and completed a minor 'Social Geography: Globalization and Mondial Inequality'. After his graduation in 2013, in capacity of visiting researcher, Jorijn contributed to the project 'Business in Europa and Asia during the 20th century: business systems and economic performance' (BEAT). The project was a collective research project of Utrecht University, the Centre for Business History (Glasgow), Kyoto University and the German *Gesellschaft für Unternehmensgeschichte* (Frankfurt).

During the PhD project, Jorijn participated in the WTMC Graduate School of Science, Technology and Modern Culture, and presented preliminary findings at the 2014 Annual Conference of the European Business History Association in Utrecht, the 2016 Annual Conference for the Society for History of Technology in Singapore, and the 2019 Biannual International Conference on the History of Chemistry in Maastricht. Surrounding the PhD defense, excerpts from the dissertation were published in the print and online versions of industry magazine *Bits & Chips*.

High-tech innovations have been propelling the Digital Revolution since the end of the Second World War. These advances were not self-evident, but actively pursued by many. A global playing field of entrepreneurs, engineers, scientists, investors, public officials, and consumers stimulated inventiveness for commercial, intellectual, social, and political reasons.

This book explores this dynamic of high-tech innovation by looking at the machinations behind the Digital Revolution. Literally. Technologies developed by the Dutch semiconductor equipment manufacturer ASM International culminated in the linchpin of the Digital Revolution – the computer chip.

Chaired by its illustrious founder and long-time chief executive officer Arthur del Prado, ASM International has been innovating and anticipating technologies across the globe since the early beginnings of the semiconductor industry in 1958. The story of ASM International is a history full of achievements, disappointments, defining innovations, strategic lessons, and strong personalities. It shows the fortunes of high-tech innovation.

Techwatch BOOKS