# บทที่ 3

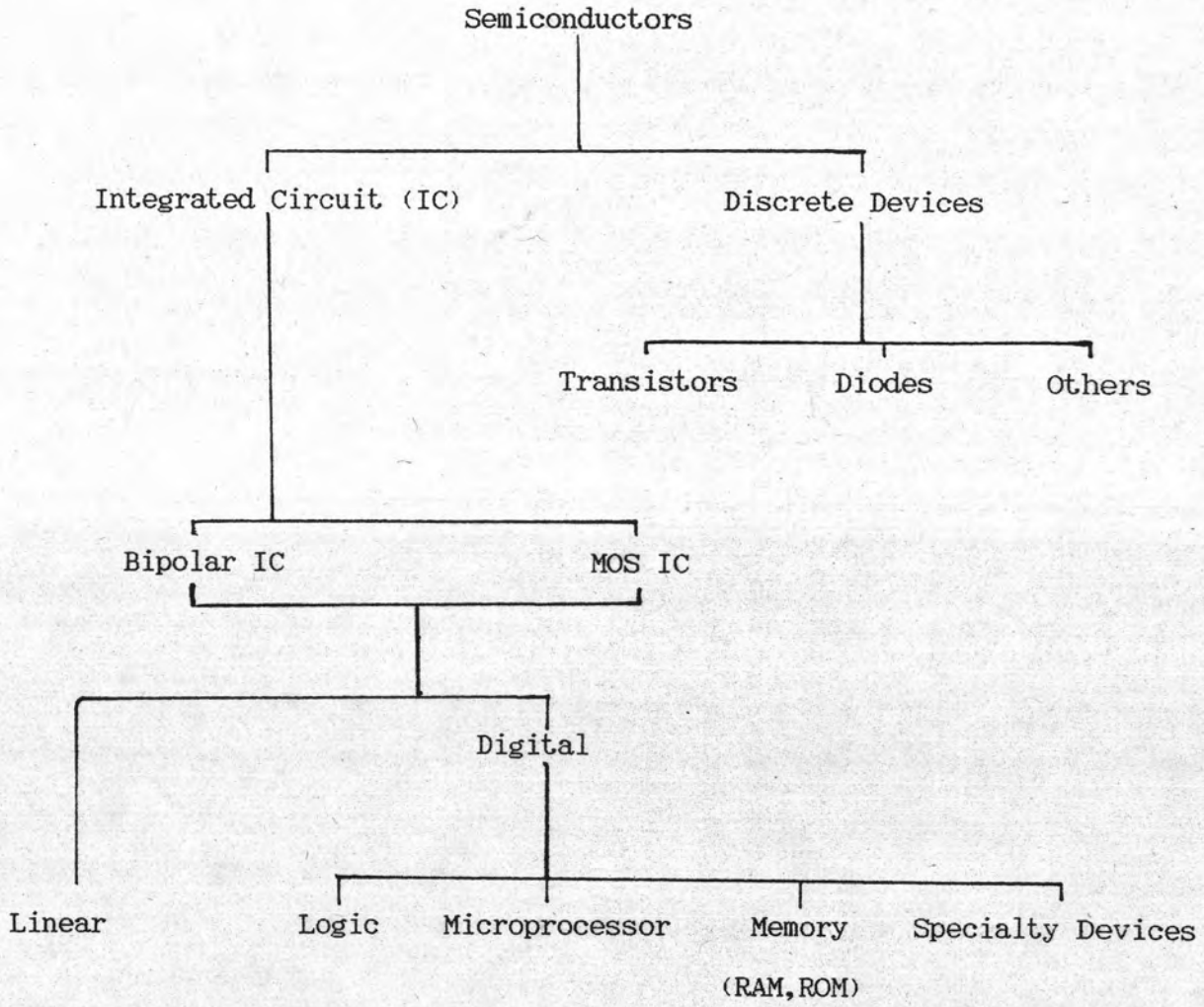
## อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

### 3.1 คำจำกัดความและเทคโนโลยีในการผลิต

เนื่องจากอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนั้น เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีชั้นสูง และมีความซับซ้อนมาก ไม่ว่าจะเป็นตัวสินค้าเองที่มีการแยกชนิดแตกต่างอย่างมาก อีกทั้งมีเทคโนโลยีในการผลิตหลายแบบ ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจในคำจำกัดความ และเทคโนโลยีต่างๆในการผลิตเบื้องต้นไว้ เพื่อที่จะสร้างความเข้าใจในโครงสร้างและวิวัฒนาการของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำต่อไป (คำจำกัดความละเอียดจะแสดงไว้ในภาคผนวก) ดังนั้นในส่วนนี้จะอธิบายถึงประวัติศาสตร์ของเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ เทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (1992) รวมทั้งทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำในอนาคตด้วย

อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ เป็นสาขาหนึ่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กโทรนิกส์ (electronic components) หรือสินค้าขั้นกลาง (intermediate goods) ซึ่งสารกึ่งตัวนำนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ทุกชนิด หน้าที่ของสารกึ่งตัวนำคือมีคุณสมบัติเป็นกึ่งตัวนำไฟฟ้า คือมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (conductor) หรือฉนวน (insulator) อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่สถานการณ์ เพื่อความเข้าใจได้มีการแบ่งสารกึ่งตัวนำเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ดังในภาพที่ 3.1 สารกึ่งตัวนำแยกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือกลุ่มแรกได้แก่ส่วนประกอบที่เป็นชิ้นๆ (discrete devices) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีความซับซ้อนในการผลิตมากนัก และในขณะนี้ในปี 1992 ก็ไม่มีความสำคัญมากนักทั้งในด้านจำนวนการผลิต และมูลค่าการผลิต ซึ่งได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ไดโอด เป็นต้น และในกลุ่มที่สองคือวงจรรวม (integrated circuit หรือ IC) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่บรรจุ discrete devices เช่น transistor diodes resistor หลายๆตัวไว้ในชิ้น silicon เล็กๆ และต่อเป็นวงจรมากกว่าหนึ่งวงจรเข้าไว้ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำมีสัดส่วนมากที่สุดในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ ซึ่งมีเทคโนโลยีในการผลิตอยู่สองแบบคือ

รูปที่ 3.1: แผนภาพการแบ่งชนิดของสารกึ่งตัวนำ



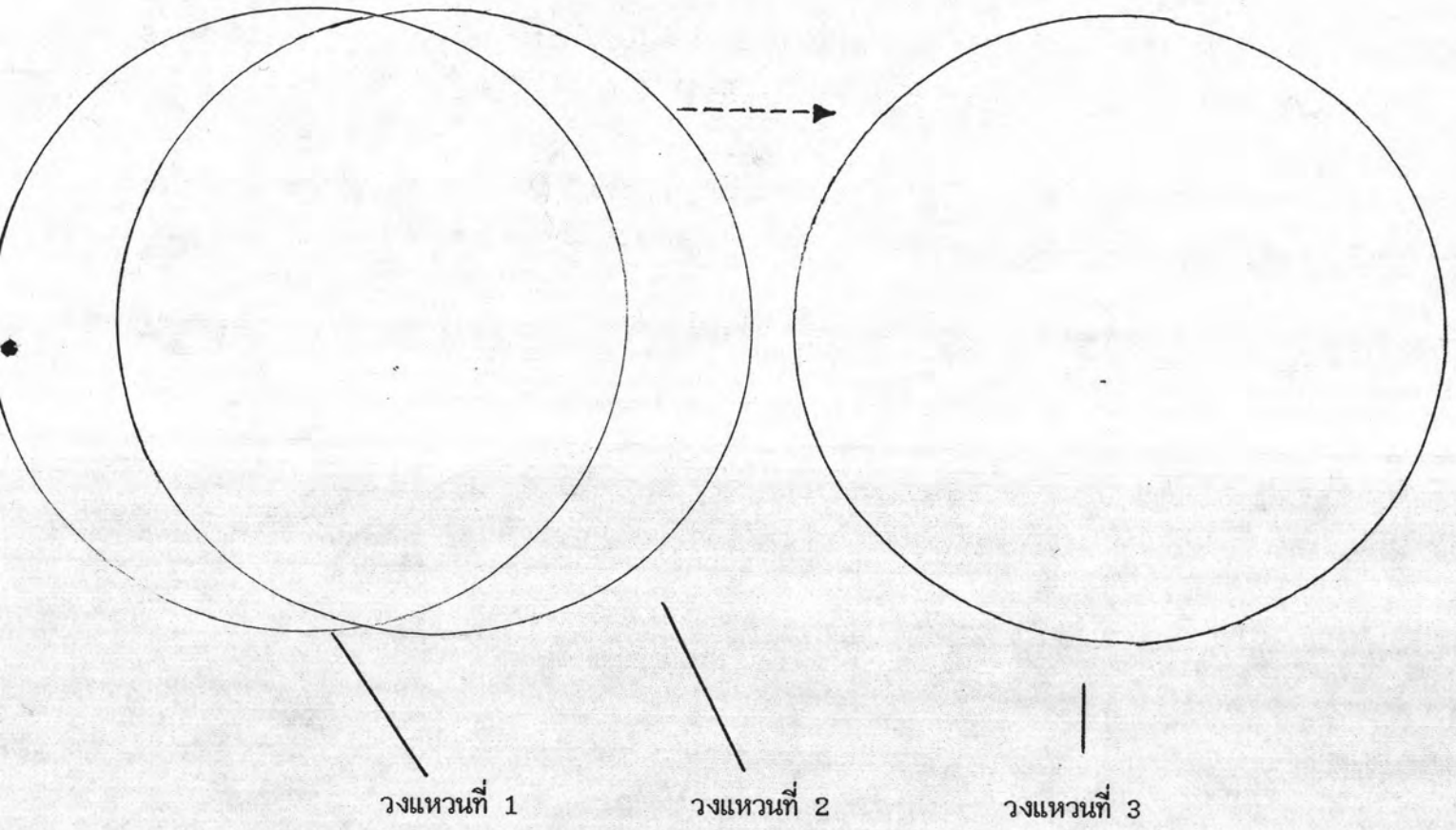

ที่มา: UNTCT. Transnational Corporations in the Semiconductor Industry, 1986

bipolar และ MOS (metal oxide semiconductor) ในช่วงต้นตั้งแต่ปี 1958 bipolar เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันมาก ในปี 1970 bipolar IC มีสัดส่วนถึง 90 % ในยอดขายวงจรรวมทั้งโลก แต่พอมาถึงในปี 1986 bipolar ก็ลดความนิยมลงเหลือเพียง 45 % ขณะที่ MOS เพิ่มสูงถึง 55 % และคาดว่าในปี 1991 bipolar จะเหลือสัดส่วนเพียง 32 % โดย MOS จะมีสัดส่วนสูงถึง 68 % ในปัจจุบันปี 1991 ส่วนมากมักจะใช้เทคนิคการผลิตแบบ MOS (ซึ่งแบ่งเป็น NMOS PMOS และ CMOS โดยส่วนมากเป็น CMOS ในปี 1991 NMOS มีสัดส่วน 18 % PMOS น้อยกว่า 1 % CMOS 79 % และ GaAs 3 %) เนื่องจากต้นทุนการผลิตถูกกว่า อีกทั้งทำให้วงจรรวมมีความหนาแน่นได้มากกว่า และใช้กระแสไฟน้อยกว่า มียกเว้นเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์บางชนิด เช่นในการสื่อสารยังคงใช้ bipolar อยู่เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในด้านความเร็วและใช้กับกระแสไฟฟ้าสูงๆได้

นอกเหนือจากการแบ่งชนิดวงจรรวมตามเทคนิคการผลิตแล้ว ยังแบ่งลงมาอีกตามหน้าที่การทำงาน ได้แก่ logic, microprocessor, memory และ specialty devices โดย logic เป็นวงจรที่ทำงานเชิงตรรกในการคำนวนทางคณิตศาสตร์ และการปฏิบัติการเกี่ยวกับข้อมูลที่มีอยู่ในหน่วยความจำ microprocessor ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลส่วนกลาง (central processing unit - CPU ) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีความซับซ้อนมาก ต้องผลิตครั้งละมากๆ เนื่องจากต้นทุนในการออกแบบสูงมาก ระยะเวลาการออกแบบนานนับปี ถือเป็นหัวใจของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกับ RAM ROM รวมทั้ง logic ให้ทำงานเป็นระบบ ถ้าเป็น CPU ของเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ทั่วไปเรียกว่า microcontroller ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่า microprocessor ตัวอย่างของ microprocessor เช่นของบริษัท Intel ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ได้แก่ รหัส 8088 80286 80386 80486 เป็นต้น ส่วน memory นั้นเป็นส่วนที่เก็บความจำของเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ แม้ว่าวงจรรวมหน่วยความจำจะมีความจุสูงแต่ก็มีโครงสร้างง่ายๆ คือเป็นการประกอบจากกลุ่มทรานซิสเตอร์ ต่อกับตัวเก็บประจุไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันจำนวนนับล้านกลุ่ม จึงไม่ยุ่งยากในการออกแบบวงจร แต่มีความซับซ้อนในกระบวนการผลิตสูงมาก แยกเป็น RAM (random access memory) และ ROM (read only memory) โดย RAM เป็นที่เก็บความจำแบบชั่วคราว และสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เก็บระหว่างใช้งานได้ ความจำจะหมดไปเมื่อปิดสวิตซ์ไฟฟ้า แยกเป็น DRAM (dynamic RAM) ที่ความจำระหว่างใช้งานจะมีการทวนซ้ำข้อมูลตลอดเวลา (refresh) และ SRAM (static RAM) ที่ความจำระหว่างใช้

งานจะอยู่คงที่ตลอด ส่วน ROM เป็นตัวเก็บความจำแบบถาวร แม้จะปิดสวิตซ์ไฟฟ้าแล้วความจำก็ยังคงอยู่ อ่านข้อมูลได้อย่างเดียวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลระหว่างใช้งาน แยกเป็น EPROM (erasable programmable ROM) ที่ความจำถาวรนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยแสง ultraviolet (UV) และสามารถบรรจุโปรแกรมลงไปใหม่ได้ด้วยกระแสไฟฟ้า และ EEPROM (electrically erasable programmable ROM) เหมือนกับ EPROM แต่การลบและเปลี่ยนข้อมูลใหม่ด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างเดียว อันสุดท้ายได้แก่ specialty devices เป็นการออกแบบพิเศษเพื่อให้เหมาะกับเครื่องใช้นั้นๆ ได้แก่ full-custom และ semi-custom IC หรือ ASIC (application specific IC) ซึ่งข้อดีของวงจรประเภทนี้คือ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพควบคู่ไปกับการลดต้นทุน และป้องกันการลอกเลียนแบบสินค้าได้ โดยเป็นการลดจำนวนวงจรรวมบนแผงวงจรไฟฟ้า โดยรวมวงจรรวมมาตรฐานหลายๆตัว ให้เป็นวงจรรวมเฉพาะกิจตัวเดียว โดยผู้ใช้วงจรรวมสามารถร่วมออกแบบ หรือกำหนดคุณสมบัติของวงจรรวมร่วมกับผู้ผลิตได้ โดยเป็นการเน้นในตลาดเฉพาะ (niche market) เป็นการผลิตเฉพาะแบบยืดหยุ่น (flexible specification) มากกว่าเน้นในตลาดวงจรรวมทั่วไป (commodity product) ที่ต้องผลิตเป็นจำนวนมาก คือเป็นการรวมวงจรรวมมาตรฐาน SPIC (standard product integrated circuit) หลายๆตัวเข้าเป็นวงจรเดียว ที่มีการพูดถึงกันมากในแง่ของการใช้เงินลงทุนที่ต่ำ เนื่องจากการผลิต SPIC เช่น memory products , microprocessor มีต้นทุนในการผลิตและออกแบบสูง ทำให้ต้องมีการผลิตเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำ และใช้เวลาในการออกแบบนาน ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับประเทศกำลังพัฒนาทั้งในด้านจำนวนเงินลงทุนที่สูงมาก และการหาตลาดมารองรับการผลิตจำนวนมาก เนื่องจากตลาดภายในประเทศมีขนาดเล็กอีกทั้งมีการแข่งขันในส่วนนี้สูงมาก แต่ ASIC นั้นใช้เงินลงทุนจำนวนต่ำกว่ามาก การผลิตก็ไม่ต้องผลิตเป็นจำนวนมาก แม้ว่าราคาต่อหน่วยจะสูงกว่า SPIC ก็ตาม แต่ก็เป็นการผลิตตามความต้องการของลูกค้า ทำให้เกิดภาคการออกแบบอิสระซึ่งจะตอบสนองต่อบริษัทผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ คือเปิดโอกาสให้ผู้ใช้มีโอกาสกำหนดความต้องการในการออกแบบอย่างใกล้ชิด ดังแสดงการเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของ SPIC และ ASIC ในภาพที่ 3.2 และ 3.3 โดยในภาพที่ 3.2 เป็นการแสดงความยืดหยุ่นของ SPICแสดงให้เห็นว่าวงแหวนที่ 1 (เทคโนโลยีของผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ) ใกล้มากจนเกือบจะทับวงแหวนที่ 2 (เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม) นั่นหมายถึงว่าการออกแบบ และผลิตวงจรรวมจะอยู่ในบริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำเกือบทั้งหมด อีกทั้งแยกวง

ภาพที่ 3.2 รูปแบบการประสานงานระหว่างบริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ บริษัทออกแบบวงจรรวม และผู้ใช้สารกึ่งตัวนำ ใน Standard Product IC (SPIC)




------▶ ทิศทางการไหลเทคโนโลยี

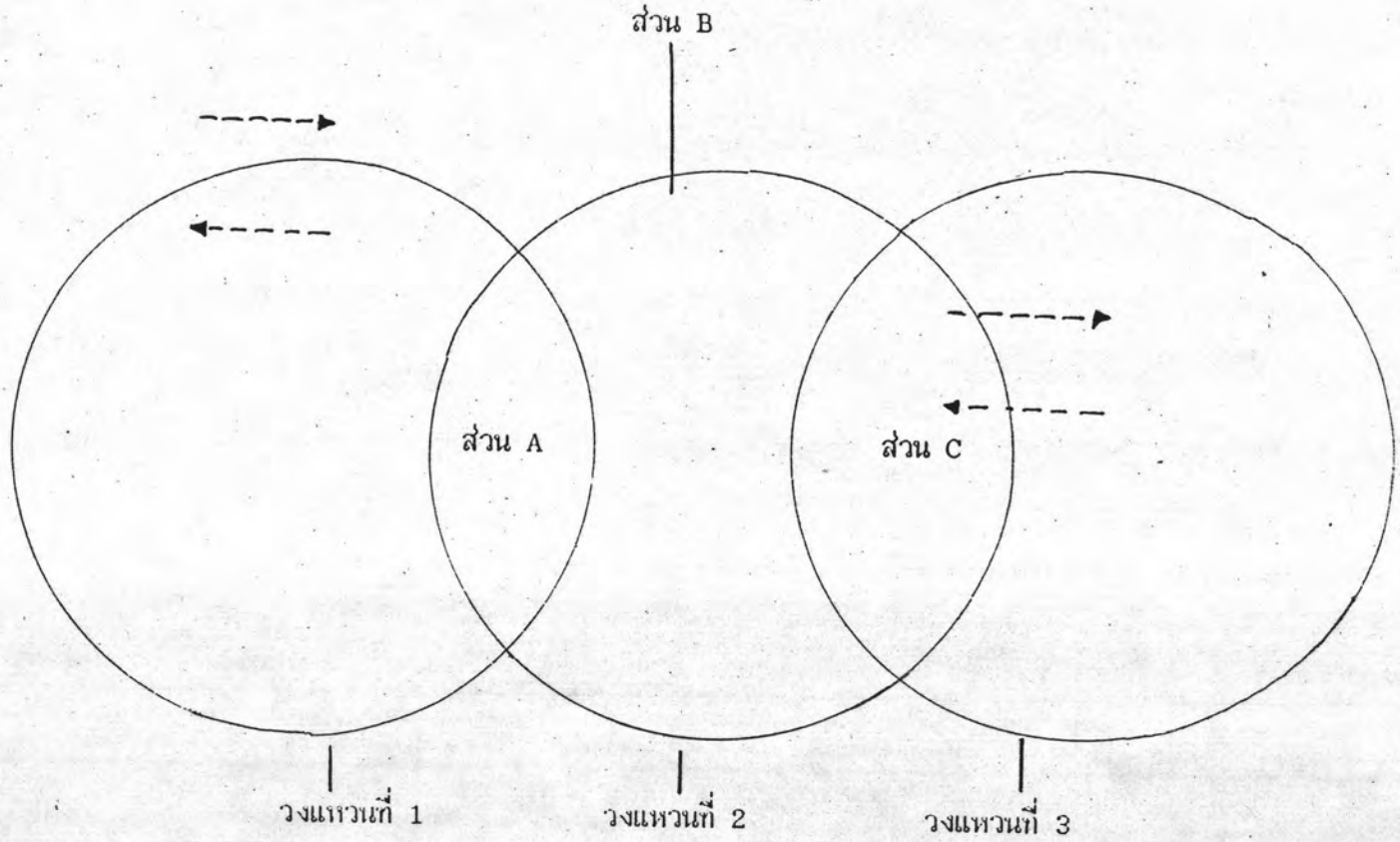
วงแหวนที่ 1 กระบวนเทคโนโลยีการเจือสารและการผลิต

วงแหวนที่ 2 เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม

วงแหวนที่ 3 เทคโนโลยีของผู้ใช้

ที่มา : Michael Hobday. Semiconductor Technology and the Newly Industializing Countries: the Diffusion of ASICs. World Development, 1991.

ภาพที่ 3.3 รูปแบบการประสานงานระหว่างบริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ บริษัทออกแบบวงจรรวม และบริษัทผู้ใช้สารกึ่งตัวนำ ใน ASIC




| | |
|---|---|
| ----► | ทิศทางการไหลเทคโนโลยี |
| วงแหวนที่ 1 | กระบวนเทคโนโลยีการเจือสารและการผลิต |
| วงแหวนที่ 2 | เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม |
| วงแหวนที่ 3 | เทคโนโลยีของผู้ใช้ |
| ส่วน A | ส่วนการออกแบบวงจรรวมของบริษัทผลิตสารกึ่งตัวนำ |
| ส่วน B | ส่วนของบริษัทออกแบบวงจรรวมอิสระ |
| ส่วน C | ส่วนการออกแบบวงจรรวมของผู้ใช้วงจรรวม(ผู้ผลิตอิเล็กโทรนิกส์) |

ที่มา : Michael Hobday.' Semiconductor Technology and the Newly Industializing Countries: the Diffusion of ASICs. World Development, 1991.

แหวนที่ 3 ออกไม่สัมพันธ์กัน คือผู้ใช้สารกึ่งตัวนำไม่มีส่วนร่วมในการออกแบบวงจรรวมเลย เพียงแต่นำ SPIC ที่สำเร็จรูปมาประกอบเป็นวงจรทำเป็นสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ ซึ่งหน้าที่หลักในวงแหวนที่ 1 และ 2 ดำเนินการโดยผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำรายใหญ่ไม่กี่ราย เนื่องจากข้อจำกัดในการออกแบบวงจร และการเจือสาร โดยกระแสเทคโนโลยีไหลจากผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำไปยังผู้ใช้สารกึ่งตัวนำ จะเห็นได้ว่าใน SPIC ไม่สร้างความยืดหยุ่นให้ผู้ใช้สารกึ่งตัวนำเลย แต่ในภาพที่ 3.3 แสดงความยืดหยุ่นของ ASIC เห็นว่าวงแหวนที่ 2 แยกห่างออกมาจากวงแหวนที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีในการผลิต แยกตัวออกมาจากการออกแบบ และวงแหวนที่ 3 (ผู้ใช้สารกึ่งตัวนำ) ก็เริ่มมีบทบาทในการออกแบบวงจรรวมด้วย โดย ASIC มีความยืดหยุ่นสูงทำให้การออกแบบวงจรรวม มีการร่วมกันมากขึ้นทั้งผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ ผู้ออกแบบวงจรรวม และผู้ใช้สารกึ่งตัวนำ โดยมีการไหลเทคโนโลยีระหว่างกัน จากข้อดีของ ASIC ให้สินค้ามีความแตกต่างจากคู่แข่ง อีกทั้งใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า สามารถป้องกันการเลียนแบบได้ดีเพราะเป็นการออกแบบเฉพาะตามความต้องการของผู้ใช้ ใช้เวลาสั้น ทำให้การออกแบบวงจรไม่ต้องถูกผูกขาดโดยบริษัทข้ามชาติใหญ่ๆอีกต่อไป เป็นการเปิดโอกาสให้ประเทศกำลังพัฒนาก้าวเข้ามาสู่อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำเช่นอุตสาหกรรมอิเล็กโทรนิกส์ได้

ทางด้านขบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำ ก็เป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากต่อการเข้าใจเช่นกัน แต่ก็เป็นส่วนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นจุดที่แข่งขันกันทั้งในด้านการเพิ่มขนาดวงจร ความน่าเชื่อถือ ความเร็ว และการประหยัดพลังงาน ในการที่ประเทศใดจะเข้ามาสู่ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ ว่าจะเข้ามาในขั้นตอนใดของการผลิต หรือจะอยู่ในทุกขั้นตอนของการผลิต ซึ่งก็จะแล้วแต่ลักษณะ ความสามารถ และนโยบายของประเทศนั้นๆ

กระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. การผลิตแผ่น wafer
2. การออกแบบวงจร (circuit design) และการทำหน้ากาก (mask)
3. การทำ wafer processing หรือ wafer fabrication

4. การประกอบ (assembly)

5. การทดสอบ (testing)

ขั้นแรกคือการผลิตแผ่น wafer ขั้นตอนนี้มักไม่ได้ผลิตโดยผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ แต่มักผลิตโดยบริษัทขนาดใหญ่ที่เกี่ยวกับเคมีภัณฑ์ เช่น บริษัท Monsanto ของสหรัฐ และ Wacker Chemical ของเยอรมันเนื่องจากต้องใช้การผลิตจำนวนมากเพื่อให้เกิดการประหยัดต่อขนาด (economies of scale) ยกเว้นบริษัทสารกึ่งตัวนำใหญ่ๆ เช่น Motorola, Texas Instrument จะมีการผลิต wafer เอง ขั้นตอนนี้จะเป็นการเจือสารด้วย silicon ที่บริสุทธิมากๆ และตัดเป็นแผ่น wafer บางๆ สุดท้ายก็เอา wafer นั้นมาขัดและเคลือบด้วยชั้นของ silicon dioxide ในขั้นการผลิต wafer นี้เป็นที่คาดว่าประเทศญี่ปุ่นจะเป็นผู้ครองตลาดในอนาคต แม้ว่าในปี 1992 ผู้ผลิตรายใหญ่ เช่น Monsanto จะเป็นของสหรัฐ แต่บริษัทญี่ปุ่นก็ได้เข้าซื้อ บริษัทสหรัฐไว้หลายรายเช่น NBK และ Siltec ถูกซื้อโดย Kawasaki Steel และ Mitsubishi Metals เป็นต้น ในขั้นตอนนี้มีทางเลือกที่ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำต้องตัดสินใจอยู่สองทางคือ

1. จะใช้อะไรเป็นวัตถุดิบ ซึ่งจนถึงปี 1992 ก็ใช้ silicon เป็นส่วนใหญ่ มีบ้างที่ใช้ Gallium Arsenide แต่ยังน้อยมากเนื่องจากราคาที่สูง ซึ่งทางเลือกของข้อนี้คงเป็นในอนาคตที่มีวัตถุดิบให้เลือกมากขึ้น ซึ่งแต่ละอันก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันไป

2. จะผลิต wafer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าใดดี ซึ่งขนาดของ wafer ก็เป็นตัวชี้ถึงจำนวนของ chip ที่สามารถผลิตได้ใน wafer แผ่นหนึ่ง เช่น wafer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สามารถตัดเป็น chip ได้ 100 อัน หรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วสามารถตัดเป็นchip ได้ 400 อัน จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง กับจำนวนของ chip นั้นไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรง แต่การที่จะเลือกแผ่น wafer ขนาดใหญ่นั้น ต้นทุนก็สูงมาก และต้องใช้เทคนิคในการผลิตที่ซับซ้อนขึ้น เนื่องจากความยากลำบากในการรักษาอุณหภูมิบนพื้นผิวของ wafer ที่มีขนาดใหญ่อาจทำให้บิดงอได้ อย่างไรก็ตามในปี 1991 การผลิตโดยมากเป็นแบบ VLSI (very large scale integration) ที่มีความหนาแน่นของทรานซิสเตอร์นับแสนตัว

ดังนั้น chip ประเภท VLSI จึงต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ใน chip 1 ตัว ดังนั้นทำให้แผ่น wafer หนึ่งแผ่นสามารถตัดเป็น chip ได้จำนวนน้อยลง ยิ่งกว่านั้น VLSI chip เป็น chip ที่มีความซับซ้อนมากโอกาสที่ chip ในแผ่น wafer จะเสียใช้ไม่ได้มีมาก ดังนั้นผู้ผลิตวงจรรวมจึงอยากใช้ wafer ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า เพื่อที่ตัดเป็น chip จะได้จำนวนมาก ในปี 1990 มาตรฐานของแผ่น wafer คือขนาด 4 นิ้ว แต่ก็มีเป็นจำนวนมากที่ผลิตขนาด 5-6 นิ้วอยู่ และแผนในอนาคตคือขนาด 5-6 นิ้ว

ขั้นตอนที่สอง คือการออกแบบวงจรและผลิตหน้ากาก เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้แรงงานที่มีทักษะสูงมาก (highly skilled labour) อีกทั้งต้องใช้เวลามาก ขบวนการนี้เริ่มตั้งแต่ว่าต้องการให้วงจรรวมทำหน้าที่อะไร แล้วทำข้อกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของวงจรนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบวงจรให้ทำงานตามคุณสมบัตินั้น เมื่อได้วงจรอิเล็กโทรนิกส์ที่ต้องการแล้วจึงทำการออกแบบลักษณะทางกายภาพของวงจรรวมให้สามารถทำงานเป็นวงจรอิเล็กโทรนิกส์ที่ออกแบบไว้อีกต่อหนึ่ง ลวดลายที่ออกแบบนี้จะส่งไปยังโรงงานผลิตในรูปแฟ้มคอมพิวเตอร์ รู้จักกันในชื่อว่า Layout Design หรือ Mask Work ทำให้ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นมาก มีการพยายามที่จะลดต้นทุนการผลิตโดย การใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ (computer-aided design - CAD) และ การทำการวิจัยและพัฒนา (R & D) ในด้านการออกแบบเกี่ยวกับ การออกแบบตามความต้องการ หรือกึ่งความต้องการของลูกค้า (custom or semi-custom circuit) เพื่อลดเวลาในการออกแบบ และต้นทุน หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรวงจรรวมแล้ว ก็ต้องมีการแปรผังที่ออกแบบลงไปสู่แผ่นที่เรียกว่าหน้ากาก (mask) ซึ่งเป็นกระจกที่มีลวดลายตามที่ได้ออกแบบไว้ และมีขนาดเท่าของจริง การสร้างลวดลายบนกระจกหน้ากากนี้ ทำได้โดยการถ่ายภาพย่อส่วนลงบนกระจก ด้วยกล้องชนิดพิเศษ เพื่อลดขนาดลงไปถึง 1 ใน 100 ของขนาดต้นแบบ ที่จะใช้ถ่ายทอดวงจรลงบน wafer ต่อไป

ขั้นตอนที่สามคือการทำเจือสาร หรือปลูกผลึก (wafer processing หรือ fabrication) โดยจะใช้เทคนิค lithography เป็นการถ่ายทอดวงจรทีละชั้นจากหน้ากากลงบนแผ่น wafer โดยใช้แสง ultraviolet ในเครื่อง stepper ยิงผ่านหน้ากากเพื่อให้เกิดรูปแบบที่เหมือนหน้ากากแต่มีขนาดเล็กมากลงไปใน wafer ขั้นนี้เรียกอีกอย่างว่าการเจือสาร

ม.ร.ม. 14436

(fabrication) ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากในการผลิต เพราะเป็นขั้นตอนที่ละเอียดอ่อนมาก ในปี 1971 ความกว้างของลายวงจร (feature size) ประมาณ 20 uM (micrometers หรือ microns) ขณะที่ความหนาแน่นของวงจรเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความกว้างของลายวงจรก็จะเล็กลงเรื่อยๆเช่นกัน ในปี 1985 ลดลงเหลือ 2 uM จนกระทั่งในปี 1992 สามารถทำได้ในระดับ 0.25 uM และมีแนวโน้มจะลดลงไปเรื่อยๆ ตามความหนาแน่นของวงจรรวม ที่เพิ่มขึ้น แต่การที่ความกว้างของวงจรมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆนี้ ทำให้การเจือสารโดยแสง ultraviolet อาจจะไม่สามารถทำได้ต่อไปในความหนาแน่นที่มากกว่า 16 Mbit ได้อาจต้องอาศัยการพัฒนาของเทคนิคการผลิต เช่น X-ray lithography หรือ ion-beam lithography มาแทนต่อไป ซึ่งประเทศญี่ปุ่นก็ได้พัฒนาในส่วนนี้ไปบ้างแล้ว

ขั้นตอนที่สี่คือการประกอบ (assembly) หลังจากที่ได้ wafer ที่มีการเจือสารแล้ว มาทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ที่เรียกว่า chip หรือ die ชิ้นผลึกแต่ละชิ้นก็คือวงจรรวมแต่ละตัวนั่นเอง และจะนำไปติดบนกรอบขา (lead frame) เพื่อจะมีการเชื่อมวงจรด้วยโลหะ เข้ากับขาต่างๆของกรอบขา ปกติมักจะใช้ทองคำ จากนั้นก็จะเป็นการประกอบลงในกล่อง (case) ที่ทำด้วย พลาสติก เซรามิค หรือไฟเบอร์กลาส ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่ใช้แรงงานมาก ทำให้ผู้ผลิตหันไปใช้ขั้นตอนนี้ในต่างประเทศที่มีค่าแรงต่ำ หรือที่เรียกว่า offshore assembly แต่ในระยะหลังๆมานี้ chip รุ่นใหม่ๆ ที่ผลิตมามีความหนาแน่นของวงจรมาก ผู้ผลิตจะหันไปใช้เครื่องจักรแทน (automation) เพื่อลดความผิดพลาดจากแรงงานมนุษย์และเพิ่มผลผลิต

ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบ โดยการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้แน่ใจว่าวงจรรวมที่ผลิตมานั้นสามารถทำงานได้น่าเชื่อถือก่อนที่จะส่งไปถึงมือผู้ใช้ ในขั้นตอนสุดท้ายนั้น chips ที่ได้ออกมาก็มีบางส่วนที่ทดสอบแล้วไม่ผ่าน อัตราส่วนของ chips ที่ผลิตได้กับที่ไม่ผ่านการทดสอบ เรียกว่าผลได้ (yield) ผลได้นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการชี้ถึงต้นทุนการผลิตของวงจรรวม นอกเหนือจากจำนวนครั้งในการทำ mask ขนาด wafer ขนาดของลายวงจร ผลได้นี้เกิดจากประสบการณ์ในการผลิต ซึ่งโดยรวมสำคัญที่สุด ใน chip ใหม่ๆ ผลได้จะประมาณต่ำกว่า 10 เปอร์เซนต์ โดยมากเนื่องจากมีปัญหาในขั้น wafer fabrication ขณะที่ผู้ผลิตมีประสบการณ์ในการผลิต ผลได้ของ chip ที่ผลิตออกมาระยะหนึ่งแล้วจะมีผลได้ประมาณ 60 -

90 เปอร์เซ็นต์ ได้มีกฎทั่วๆไปในการกำหนดราคา chip คือต้นทุนต่อหน่วยสะสมเฉลี่ย (average cumulative unit cost) จะตกลง 30 % เมื่อปริมาณการผลิตสะสม (cumulative production volume) เพิ่มขึ้นเท่าตัว ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า experience curve หรือ learning curve

ในการศึกษานี้ คำว่าสารกึ่งตัวนำ กับวงจรรวม จะใช้แทนกันในความหมายเดียวกัน แม้ว่าจริงๆแล้ว สารกึ่งตัวนำประกอบไปด้วยวงจรรวม และส่วนประกอบที่เป็นชิ้นๆ (discrete) แต่วงจรรวมมีสัดส่วนที่มากเกือบทั้งหมดของสารกึ่งตัวนำ จึงถือได้ว่าวงจรรวมเป็นตัวแทนของสารกึ่งตัวนำ ยกเว้นในส่วนที่แสดงไว้นอกเหนือจากนี้ รวมทั้งคำว่า ไมโครอิเล็กโทรนิกส์ (microelectronics) และ ชิพ (chip) ก็หมายถึงวงจรรวมเช่นกัน

## 3.2 ความเป็นมาของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นมาของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (historical study) ที่มีลักษณะพิเศษคือเป็นสินค้าขั้นกลาง (intermediate goods) หรือเป็นสินค้าที่เป็นส่วนประกอบ (components) ของสินค้าในขั้นสุดท้าย (final goods) ดังนั้นการศึกษาในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ ก็ต้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมต้นน้ำ (upstream หรือ backward industry) และ อุตสาหกรรมปลายน้ำ (downstream หรือ forward industry) ที่มีส่วนสำคัญอย่างมากในการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้ โดยจะศึกษาการพัฒนาและรูปแบบการตลาดของอุตสาหกรรมนี้ รวมทั้งอุตสาหกรรมปลายน้ำและต้นน้ำ เพราะ สิ่งประดิษฐ์ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำเป็นตัวสำคัญที่ผลักดันอยู่เบื้องหลังทั้งในด้านความเร็วและทิศทางของความก้าวหน้าในเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ และเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์อย่างแยกจากกันไม่ออก อีกทั้งรูปแบบการพัฒนาในอุตสาหกรรมทั้งสองนี้จะโตขนานพร้อมกัน แม้ว่าการศึกษานี้จะศึกษาเน้นเฉพาะในส่วน DRAM ดังขอบเขตการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 แต่การที่จะเข้าใจในส่วน DRAM ได้นั้นต้องเข้าใจในภาพรวมอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ก่อน โดยการศึกษาภาพรวมนี้จะศึกษาในส่วนของวงจรรวม (integrated circuit) ซึ่งมีสัดส่วนมากในอุตสาหกรรมนี้

เพื่อความเข้าใจโดยรวมของอุตสาหกรรมนี้ และ จะแบ่งการศึกษาเป็นกลุ่มใหญ่คือ สหรัฐฯ ญี่ปุ่น ยุโรปตะวันตก และ กลุ่มประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (newly industrialized countries - NICs) ซึ่งกล่าวเน้นที่เกาหลีใต้ ซึ่งเป็นประเทศที่มีความสำคัญทั้งในการผลิต และการบริโภคของอุตสาหกรรมนี้

ขอบเขตของการประยุกต์ดัดแปลงใช้สารกึ่งตัวนำได้ขยายตัวไปพร้อมๆกับ วิวัฒนาการของเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ ขบวนการเทคโนโลยีการผลิตมาอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีการผลิต นั้นสหรัฐฯ เป็นผู้คิดค้นเป็นรายแรก โดยบริษัท Bell Laboratories และ AT&T (เจ้าของบริษัท Bell) ร่วมกันวิจัยในช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง จนประสบความสำเร็จในการผลิต point-contact transistor ได้ในปี ค.ศ.1948 ถือเป็นการเริ่มกำเนิดของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ และมีการผลิตเป็นเชิงการค้าได้ในปี 1951 ซึ่งในระยะแรกนั้นทรานซิสเตอร์ใช้ germanium เป็นวัตถุดิบ จนในปี 1954 Texas Instrument (TI) ได้นำ silicon มาใช้ในทรานซิสเตอร์ โดย silicon มีคุณสมบัติที่เหนือกว่า germanium จากนั้นเป็นต้นมาการผลิตทรานซิสเตอร์ด้วย germanium ก็ถูกแทนด้วย silicon ทั้งหมดในช่วงกลางทศวรรษ 1960 สิ่งประดิษฐ์ในช่วงแรกนี้เรียกโดยรวมว่า discrete devices คือแต่ละทรานซิสเตอร์จะมี package ของตัวเอง และต้องไปเชื่อมต่อเข้ากับทรานซิสเตอร์และส่วนประกอบตัวอื่นในแผงวงจรเพื่อที่จะใช้งานได้ โดยลูกค้าของผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำในระยะแรกนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นรัฐบาลของสหรัฐฯเอง ที่ต้องการนำสารกึ่งตัวนำไปใช้ในทางการทหาร ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองเพื่อนำมาใช้แทนหลอดสูญญากาศ (vacuum tube) ที่มีขนาดใหญ่มาก และใช้พลังงานสูง เพื่อนำมาผลิตเรดาร์ แม้ว่าระยะแรกต้นทุนการผลิตจะสูงมาก แต่งบประมาณทางทหารของสหรัฐมีไม่จำกัด และมีความต้องการในปริมาณมาก ทำให้ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำสามารดำเนินการไปได้ด้วยดี เช่นในปี ค.ศ.1952 การผลิตสารกึ่งตัวนำเพื่อใช้ในทางทหาร มีสัดส่วนถึง 38 % ของการผลิตทั้งหมด แต่ก็มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์เนื่องจากราคาที่สูง และความลับทางทหาร นับได้ว่าทรานซิสเตอร์เป็นสัญญาลักษณ์ของการปฏิวัติทางวิทยาศาสตร์ แต่ในการผลิตก็ล้มเหลวเนื่องจาก ในยุคแรกๆนั้น ทรานซิสเตอร์ ยังไม่น่าเชื่อถือคือมีความไม่แน่นอน และอายุการใช้งานสั้น ถัดจากนั้นในปี 1958 ซึ่งถือเป็นศักราชใหม่ของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ โดยบริษัท Texas Instrument และ Fairchild ก็ได้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์เรียกว่า วงจรรวม

(integrated circuit - IC) ขึ้น จนมีการกล่าวกันว่าเป็นการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สอง วงจรรวม หรือที่นิยมเรียกกันว่า IC หรือ chip นั้นประกอบด้วยทรานซิสเตอร์มากกว่า 1 ตัว ซึ่งทำให้ทำหน้าที่ได้มากกว่าทรานซิสเตอร์ มีคุณสมบัติเหนือกว่า transistor มาก ทั้งในด้านความน่าเชื่อถือ ความเร็ว ต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะทำให้มีความหนาแน่นของวงจรได้มาก เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมาก โดย วงจรรวม ตัวแรกนั้นเป็นชนิด bipolar แต่ต่อมาไม่นานในปี 1962 ก็ผลิต วงจรรวม ชนิด MOS ก็ผลิตตามออกมา ซึ่งเทคโนโลยีชนิด MOS นี้ ทำให้วงจรรวม ใช้พลังงานน้อยกว่า สามารถทำให้ วงจรรวมที่ใช้เทคโนโลยี MOS มีความหนาแน่นได้มากกว่า bipolar และต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่า ทำให้ วงจรรวม เป็นที่นิยมมาก

ในระยะแรกความหนาแน่นของวงจรรวมไม่สูงมากนักประมาณ 10 ตัว ในระดับ small scale integration - SSI แต่ความหนาแน่นได้สูงขึ้นทุกๆปี Gordon Moore แห่งบริษัท Fairchild ได้กล่าวในปี 1965 ว่าความหนาแน่นจะเป็นเท่าตัวทุกๆปีสำหรับสองทศวรรษข้างหน้า หรือเป็นที่รู้กันในนาม Moore's law ซึ่งก็เป็นจริงดังที่ Moore ได้ทำนายไว้ โดยความหนาแน่นได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ในระดับ medium scale integration - MSI ที่มีความหนาแน่น 100 -999 ตัว เป็น LSI ที่มีความหนาแน่น 1000 - 99,999 ตัว จนในปี 2523 chip ที่มีขนาดกว้างครึ่งเซ็นติเมตร มีความหนาแน่นสูงมากถึงกว่า 100,000 ตัว ในระดับ VLSI และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

หลังจากที่ได้มีสิ่งประดิษฐ์ MOS IC ออกมาในปี 1962 สิ่งประดิษฐ์สำคัญที่ใช้เทคโนโลยี MOS ต่อมาคือ microprocessor และ dynamic random access memory (DRAM) โดย microprocessor เป็นวงจรเชิงตรรก (logic circuit) ที่ใช้เป็นส่วนประมวลผลส่วนกลาง (central processing unit - CPU) ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่วนที่ชี้ถึงความสามารถของ microprocessor คือ bits หรือจำนวนข้อมูลที่สามารถประมวลได้ในเวลาหนึ่ง ผู้ผลิตเริ่มแรกในส่วน microprocessor คือ บริษัท Intel ได้นำ microprocessor ขนาด 4 bit ออกตลาดครั้งแรกในปี 1971 และพัฒนาต่อมาเป็นขนาด 8 bit ในปีถัดมา และพัฒนามาเป็น 16 bit และ 32 bit ในปี1974 และ 1981 ตามลำดับ ในส่วนของ microprocessor นี้มีบริษัทผูกขาดในการผลิตอยู่ไม่กี่บริษัท ซึ่งส่วนมากเป็นของสหรัฐฯ ได้แก่

Motorola และ Intel เป็นต้น ส่วน DRAM นั้นเป็นวงจรเกี่ยวกับความจำในการเก็บข้อมูล ส่วนที่ชี้ถึงความสามารถของ DRAM มี 3 ส่วนคือเวลาในการเข้าถึงข้อมูล (access time) การใช้พลังงาน และ ความจุในการเก็บข้อมูล โดยความจุเป็นส่วนที่ถูกพิจารณาในเป็นอันดับแรก มีหน่วยวัดเป็น 1000 bit หรือ kilobit นิยมเรียกว่า K บริษัทที่เริ่มผลิต DRAM คือ Intel และ Advanced Memory System ได้นำ DRAM ออกสู่ตลาดในขนาด 1Kbit ในปลายปี 1970 แต่ Intel เป็นผู้ผลิตที่ออกแบบเป็นมาตรฐานของสินค้า จากนั้นในปลายปี 1973 Intel ก็ได้ออก DRAM ในระดับ 4Kbit และในปี 1976 ก็ออก 16 Kbit โดย Mostek ซึ่งเป็นผู้นำตลาด Intel, Motorola และ Texas Instrument จะเห็นได้ว่าในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในช่วงแรกนี้ ผู้คิดค้นเทคโนโลยี และประดิษฐ์สินค้าออกมาจะเป็นผู้ผลิตสหรัฐฯทั้งสิ้น ญี่ปุ่น หรือยุโรปเกี่ยวข้องน้อยมาก จนกระทั่ง ในปี 1978 Fujitsu ของประเทศญี่ปุ่น ได้เข้ามาเป็นผู้นำในตลาด DRAM เป็นครั้งแรกใน 64 Kbit แม้ว่าบริษัท IBM จะผลิต 64 Kbit ได้แล้วแต่เป็นการผลิตเพื่อใช้ในสินค้าของตนเอง ไม่ได้ผลิตสู่ตลาด จากนั้นเป็นต้นมา ในส่วนของ DRAM ญี่ปุ่นก็ครองตลาดมาตลอด ทำให้ผู้ผลิตเริ่มต้นคือบริษัทสหรัฐฯ หลายบริษัทต้องถอนตัวออกจากการแข่งขันใน DRAM ซึ่งการสรุปลำดับเหตุการณ์การคิดค้นในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

## 3.3 โครงสร้างทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

### 3.3.1 โครงสร้างทางการผลิต

การผลิตสารกึ่งตัวนำ ทั้งโลกในปี 1989 มีมูลค่าการผลิตรวมสูงถึง 57.2 พันล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นจากปี 1988 ที่มีมูลค่าการผลิตรวมเท่ากับ 50.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ ถึง 15 % และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.2 ที่ได้แสดงมูลค่าการผลิตของวงจรรวมในช่วงปี 1982 ถึง 1989 แยกรายประเทศ และตารางที่ 3.3 แสดงสัดส่วนของมูลค่าการผลิตวงจรรวมแยกรายประเทศ ประเทศสหรัฐนั้นเป็นผู้นำตลาดสารกึ่งตัวนำ มาตลอดตั้งแต่เริ่มการผลิต โดยในปี 1982 มีสัดส่วนถึง 57 % ของการผลิตวงจรรวมทั้งหมด ขณะที่ญี่ปุ่นมีสัดส่วนเพียง

ตารางที่ 3.1 ลำดับเหตุการณ์การคิดค้นในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

| ปีที่นำออกสู่ตลาด | ชื่อผลิตภัณฑ์ | บริษัทผู้คิดค้น |
|---|---|---|
| 1948 | transistor (germanium) | Bell Laboratories |
| 1954 | transistor (silicon) | Texas Instruments - TI |
| 1958 | Integrated Circuit (bipolar) | TI & Fairchild |
| 1962 | Integrated Circuit (MOS) | TI & Fairchild |
| 1970 | 1 Kbit DRAM | Intel, Advanced Memory System |
| 1971 | 4 bit Microprocessor | Intel |
| 1972 | 8 bit Microprocessor | Intel |
| 1973 | 4 Kbit DRAM | Intel,TI,Mostek, |
| 1974 | 16 bit Microprocessor | Intel |
| 1975 | 16 Kbit DRAM | Intel, TI, Mostek |
| 1978 | 64 Kbit DRAM | Fujitsu |
| 1980 | 32 bit Microprocessor | Intel |
| 1983 | 256 Kbit DRAM | หลายบริษัท |
| 1985 | 1 Mbit DRAM | หลายบริษัท |
| 1988 | 4 Mbit DRAM | หลายบริษัท |
| 1991 | 16 Mbit DRAM | หลายบริษัท |
| 1995 | 64 Mbit DRAM | หลายบริษัท |
| 1998 | 256 Mbit DRAM | หลายบริษัท |
| 2001 | 1Gbit DRAM | หลายบริษัท |

ที่มา: Electronics and Electronic Business Asia (various issues)

ตารางที่ 3.2 มูลค่าการผลิตวงจรรวมแยกรายประเทศ หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ประเทศญี่ปุ่น | 3674 | 5411 | 8500 | 7370 | 14000 | 17800 | 25900 | 29800 |
| ประเทศสหรัฐ | 5973 | 7700 | 11681 | 8957 | 11700 | 14200 | 18600 | 19900 |
| ยุโรป | 1150 | 1470 | 2273 | 1915 | 3300 | 4000 | 4900 | 5500 |
| อื่นๆ | 60 | 119 | 164 | 237 | 400 | 600 | 1400 | 1900 |
| รวม | 10857 | 14700 | 22618 | 18479 | 29400 | 36600 | 50100 | 57200 |

ที่มา:Dataquest (1990)

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนการผลิตวงจรรวมแยกรายประเทศ หน่วย: เปอร์เซ็นต์

| | ประเทศญี่ปุ่น | ประเทศสหรัฐ | ยุโรป | อื่นๆ |
|---|---|---|---|---|
| 1978 | 27.94 | 53.61 | 15.86 | 2.59 |
| 1979 | 25.49 | 57.55 | 14.36 | 2.60 |
| 1980 | 27.00 | 59.35 | 11.39 | 2.25 |
| 1981 | 29.64 | 56.86 | 10.95 | 2.56 |
| 1982 | 33.05 | 56.71 | 9.53 | 0.71 |
| 1983 | 37.02 | 54.33 | 7.87 | 0.78 |
| 1984 | 37.55 | 53.64 | 8.05 | 0.77 |
| 1985 | 40.46 | 49.15 | 9.56 | 0.83 |
| 1986 | 45.01 | 43.19 | 10.85 | 0.95 |
| 1987 | 48.63 | 38.80 | 10.93 | 1.64 |
| 1988 | 51.69 | 37.12 | 9.80 | 2.79 |
| 1989 | 52.10 | 34.80 | 9.62 | 3.32 |

ที่มา: Dataquest (1990)

33 % และสัดส่วนของสหรัฐ ก็ได้ลดลงมาเรื่อยๆ เนื่องจากการแข่งขันของประเทศญี่ปุ่นจนในปี 1986 ประเทศญี่ปุ่นก็แซงนำหน้า ประเทศสหรัฐได้สำเร็จ มีสัดส่วนถึง 45 % ขณะที่ สหรัฐเหลือส่วนแบ่งเพียง 43 % และส่วนแบ่งของสหรัฐก็ได้ลดลงเรื่อยๆ จนในปี 1989 เหลือเพียง 34 % ขณะที่ญี่ปุ่นมีส่วนแบ่งถึง 52 % ซึ่งประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐสองประเทศเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ มีสัดส่วนรวมถึง 86 % ส่วนกลุ่มประเทศยุโรปมีสัดส่วนประมาณไม่มากนักอยู่ในช่วง 9 ถึง 11 % ในช่วงปี 1982 ถึง 1989 ขณะที่กลุ่มเอเชีย-แปซฟิค เริ่มมีความสำคัญมากขึ้น ตั้งแต่ปี 1987 โดยสัดส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ก็ยังห่างจากประเทศผู้นำมาก แต่ก็นับว่าเป็นคู่แข่งที่สำคัญของกลุ่มประเทศยุโรป จะเห็นว่าประเทศญี่ปุ่น ทวีความสำคัญขึ้นมามากจนเป็นคู่แข่งที่น่ากลัวของสหรัฐ โดยมีอัตราเติบโตในมูลค่าการผลิต จากปี 1982 ถึง 1989 ถึง 711 % ขณะที่ประเทศกลุ่มอุตสาหกรรมใหม่แม้จะมีสัดส่วนไม่มากนัก แต่ก็ทวีความสำคัญขึ้นมามาก มีอัตราการเติบโตที่สูงมาก หรือถ้าจะดูจากการจัดอันดับบริษัทในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ตามมูลค่ายอดขาย ดังตารางที่ 3.4 จะเห็นว่า ในปี 1971 บริษัทสหรัฐ อยู่ในอันดับที่ 1 และ 2 คือ Intel และ Motorola ส่วน NEC ของญี่ปุ่น อยู่ในอันดับ 6 อีก 10 ปีถัดมาพอมาในปี 1981 สหรัฐยังคงเป็นผู้นำอยู่ในอันดับ 1 และ 2 โดย TI และ Motorola ส่วน Intel ตกลงไปในอันดับ 7 ขณะที่ญี่ปุ่นขยับเข้ามาใกล้โดยในอันดับที่ 3,4, และ 5 เป็นของบริษัทญี่ปุ่น จนในปี 1986 ประเทศญี่ปุ่นก็แทรงหน้าบริษัทสหรัฐสำเร็จ โดย NEC ขึ้นนำเป็นอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 และ 3 ก็เป็นของบริษัทญี่ปุ่นคือ Hitachi และ Toshiba ในปีนี้ 10 อันดับแรกเป็นของญี่ปุ่นถึง 6 บริษัท สหรัฐมีเพียง 2 อันดับเท่านั้น ในปี 1986 ถือว่าเป็นปีที่ประเทศญี่ปุ่น แซงสหรัฐสำเร็จทั้งในมูลค่าการผลิต และ ตำแหน่งอันดับที่ 1 ในมูลค่ายอดขาย ล่าสุดในปี 1990 ใน 10 อันดับแรกก็เป็นของบริษัทญี่ปุ่นถึง 6 บริษัท สหรัฐ 3 บริษัท ยุโรป 1 บริษัท โดย 6 บริษัทแรกของญี่ปุ่นมียอดขายเป็นสัดส่วนถึง 37 % ของยอดขายรวม จะเห็นได้ว่าญี่ปุ่นได้พัฒนามาเป็นคู่แข่งที่สำคัญของสหรัฐในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ และในบางผลิตภัณฑ์ญี่ปุ่นก็ได้นำหน้าสหรัฐไปแล้ว และมีแนวโน้มที่ประเทศญี่ปุ่นจะเติบโตไปได้อีก เนื่องจากความพร้อมไม่ว่าในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำเอง หรืออุตสาหกรรมปลายน้ำเช่นอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าของญี่ปุ่นที่เติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้มีอุปสงค์ต่อสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นเองเพิ่มขึ้นตลอด หรือแม้แต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ อันได้แก่อุตสาหกรรมเครื่องผลิตและประกอบสารกึ่งตัวนำ ของญี่ปุ่นที่นับวันก็จะพัฒนา เป็นคู่แข่งที่สำคัญของสหรัฐเช่นกัน

ตารางที่ 3.4 บริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ 10 อันดับแรกของโลก หน่วย:พันล้านเหรียญสหรัฐ

| อันดับปี 1989 | อันดับปี 1990 | ชื่อบริษัท | ยอดขายสารกึ่งตัวนำ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | NEC | 4.95 |
| 2 | 2 | Toshiba | 4.91 |
| 3 | 3 | Hitachi | 3.93 |
| 4 | 4 | Motorola | 3.69 |
| 8 | 5 | Intel | 3.14 |
| 5 | 6 | Fujitsu | 3.02 |
| 6 | 7 | TI | 2.57 |
| 7 | 8 | Mitsubishi | 2.48 |
| 9 | 9 | Matsushita | 1.95 |
| 10 | 10 | Philips | 1.93 |
| | | รวม 10 อันดับแรก | 32.57 |
| | | รวมทั้งหมด | 58.47 |

ที่มา:Dataquest (1990)

3.3.2 โครงสร้างการบริโภค

สหรัฐเดิมเป็นผู้บริโภครายใหญ่ที่สุด ในปี 1981 บริโภคถึง 51 % ของผลผลิตโลก แต่นับตั้งแต่ปี 1986 ประเทศญี่ปุ่นก็กลายมาเป็นผู้บริโภครายใหญ่แทนสหรัฐ เนื่องจากมีอุปสงค์จำนวนมากจากผู้ผลิตเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ของญี่ปุ่น ดังแสดงในตารางที่ 3.5 แสดงมูลค่าการบริโภคสารกึ่งตัวนำแยกรายประเทศ และตารางที่ 3.6 แสดงสัดส่วนมูลค่าการบริโภคสารกึ่งตัวนำแยกรายประเทศ ซึ่งจะเห็นว่า ในปี 1991 ประเทศญี่ปุ่น บริโภคสารกึ่งตัวนำมาเป็นอันดับหนึ่งเท่ากับ 40.4 % ของผลผลิตโลก ในขณะที่ สหรัฐมีสัดส่วนการบริโภคลดลงเหลือเพียง 30.4 % ยุโรปมีการบริโภค 17 % ของผลผลิตโลก จากเดิมในปี 1981ที่ญี่ปุ่นมีสัดส่วนเพียง 23.7 % และสหรัฐมีสัดส่วนการบริโภคถึง 51 %

ในด้านอุปสงค์นั้นระยะแรกเกือบทั้งหมดก็ยังคงมาจากด้านการทหารและอวกาศของสหรัฐฯ เช่นในปี 1962 สัดส่วนของทางทหารและอวกาศของสหรัฐฯ ในสารกึ่งตัวนำ เท่ากับ 100 % ของการผลิตวงจรรวมทั้งหมดของสหรัฐฯ และยังคงสัดส่วนที่สูงประมาณ 90 % ของยอดขายวงจรรวม ไปจนกระทั่งปี 1965 แต่ด้วยการขยายการผลิตวงจรรวมออกเป็นจำนวนมาก และการลดลงอย่างต่อเนื่องในราคาของวงจรรวมต่อหน่วย ทำให้ความสำคัญของการผลิตเพื่อการทหารลดลงไป ในปี 1987 สัดส่วนการบริโภคทางทหารเหลือไม่ถึง 1 ใน 10 ของการบริโภคทั้งโลก ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำจึงหันไปสนใจในการผลิตเพื่ออุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์โทรคมนาคม และเครื่องใช้อิเล็คโทรนิกส์เพิ่มขึ้นแทน ในปี1970 วงจรรวมที่ใช้ในคอมพิวเตอร์มีสัดส่วน 64 % หรือ 2 ใน 3 ของการบริโภคทั้งโลก และจากนั้นเป็นต้นมาผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ก็ใช้วงจรรวมในคอมพิวเตอร์มากขึ้น เพื่อเพิ่มความเร็ว และประสิทธิภาพของเครื่อง ขณะเดียวกันราคาของวงจรรวมก็ลดลงมาตามลำดับ ทำให้สัดส่วนมูลค่าการบริโภคของคอมพิวเตอร์ ต่อการบริโภคทั้งหมดลดลงมาโดยตลอดเช่นกัน แม้ว่าจะมีการใช้มากขึ้นก็ตาม โดยในปี 1987 เหลือสัดส่วนเพียง 36 % หรือ 1 ใน 3 ของการบริโภคโดยรวม ส่วนอุปสงค์จากอุปกรณ์โทรคมนาคม สัดส่วนก็ได้เพิ่มขึ้นมาเรื่อยๆจากปี 1970 เรื่อยมาจนในปี 1987 มีสัดส่วนถึง 15 % และอุปสงค์ที่สำคัญที่สุดและคาดว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง คืออุปสงค์จากสินค้าอิเล็กโทรนิกส์แก่ผู้บริโภค (electronic consumer goods) อันได้แก่วิทยุ โทรทัศน์ อุปกรณ์เครื่องเสียง วีดีโอ ซึ่งใน

ตารางที่ 3.5 มูลค่าการบริโภคสารกึ่งตัวนำแยกรายประเทศ หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ประเทศญี่ปุ่น | 10451 | 12732 | 17629 | 19219 | 19115 | 22189 |
| ประเทศสหรัฐ | 8508 | 10259 | 13885 | 15588 | 14553 | 16713 |
| ยุโรป | 5344 | 6188 | 8125 | 8481 | 8314 | 9325 |
| อื่นๆ | 2025 | 3351 | 5316 | 6260 | 6078 | 6759 |
| รวม | 26355 | 32530 | 44954 | 49547 | 48061 | 54986 |

ที่มา:World Semiconductor Trade Statistics (September 1990)

ตารางที่ 3.6 สัดส่วนการบริโภคสารกึ่งตัวนำแยกรายประเทศ หน่วย: เปอร์เซ็นต์

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ประเทศญี่ปุ่น | 39.7 | 39.1 | 39.2 | 38.8 | 39.8 | 40.4 |
| ประเทศสหรัฐ | 32.3 | 31.5 | 30.9 | 31.5 | 30.3 | 30.4 |
| ยุโรป | 20.3 | 19.0 | 18.1 | 17.1 | 17.3 | 17.0 |
| อื่นๆ | 7.7 | 10.3 | 11.8 | 12.6 | 12.6 | 12.3 |

ที่มา: World Semiconductor Trade Statistic (September 1990)

ระยะแรกเติบโตช้ามาก จนกระทั่งในช่วงปี พ.ศ. 1965 โทรทัศน์ วิทยุ ก็เป็นเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ที่ดัดแปลงนำวงจรรวมมาใช้มากขึ้น จนถึงปี พ.ศ. 1971 ได้มีการพัฒนา microprocessor (microcontroller) เกิดขึ้นมาทำให้เป็นยุคทองของการประยุกต์ใช้วงจรรวมในสินค้าอิเล็กโทรนิกส์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความซับซ้อนของวงจรรวมได้เพิ่มมากขึ้น ขณะที่ราคาได้ลดลงมาตลอด ทำให้ดัดแปลงสินค้าออกมาได้มากขึ้น โดยมีสัดส่วนการบริโภคถึง36 % ในปี 1987 และที่กำลังมาแรงคาดว่าจะเป็นผู้บริโภครายใหญ่ต่อไปคือ โทรทัศน์ที่มีความชัดสูง (high definition TV - HDTV) คาดว่าจะมีอุปสงค์ต่อวงจรรวม(memory) 0.1 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 1992 และเป็น 1.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2004

แม้ว่าอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ นับได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตสูงสุดอุตสาหกรรมหนึ่ง แต่ก็เป็นอุตสาหกรรมที่ประสบปัญหากับราคาสินค้าที่มักจะลดลงอย่างรวดเร็ว ตลอดอายุของสินค้านั้น ซึ่งก็มีสาเหตุใหญ่ๆคือ

1.การผลิตสารกึ่งตัวนำนี้ต้องเป็นการผลิตแบบจำนวนมาก (mass production) เพื่อให้เกิดความคุ้มทุนในการผลิต (economis of scale) เพราะต้นทุนในการผลิตของอุตสาหกรรมนี้จะสูงมาก แต่ลักษณะการผลิตจำนวนมากนี้จะส่งผลให้เกิดอุปทานส่วนเกิน (excess supply) ในเวลาที่อุตสาหกรรมปลายน้ำ (downstream industry) เช่นอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ หรืออุตสาหกรรมเครื่องใช้อิเล็กโทรนิกส์ ที่เป็นผู้บริโภคผลิตภัณฑ์สารกึ่งตัวนำรายใหญ่ อยู่ในช่วงตกต่ำ ทำให้อุปสงค์ต่อสารกึ่งตัวนำลดลงไป เป็นผลทำให้ราคาสารกึ่งตัวนำตกต่ำลงไป

2.อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ ขบวนการผลิตจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการผลิต (learning curve) ทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น chipที่ผลิตออกมาจะมีเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ใช้ได้ต่อส่วนที่เสีย สูงขึ้นเรื่อยๆตลอดอายุของสินค้า ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการกำหนดต้นทุนการผลิต ดังนั้นราคาสินค้าก็ย่อมจะมีแนวโน้มลดลงตลอดอายุสินค้า

3.มีการออกสินค้าที่มีความสามารถมากกว่าเดิมอยู่ตลอดเวลา และราคาต่อความสามารถ (price per function performed) ก็จะลดลงมาด้วยเช่น DRAM 1 Mbit ออกมาแทน 256 Kbit DRAM ซึ่งตัวใหม่ที่ออกมามีราคาต่อ bit ต่ำกว่าเดิม

3.3.3 การตลาดและการแข่งขันระหว่างประเทศ

**ประเทศสหรัฐอเมริกา**

ประเทศสหรัฐเป็นประเทศที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำมากทั้งในด้านการผลิตและบริโภค อีกทั้งยังไปลงทุนในประเทศต่างๆจำนวนมาก โดยในยุโรปนั้นสหรัฐลงทุนในการผลิตสารกึ่งตัวนำเกือบครบวงจร หรือครบวงจรเลย ขณะที่การลงทุนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นโดยมากเป็นการลงทุนในการประกอบและทดสอบสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากค่าแรงที่ถูก โดยเฉพาะในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ เป็นประเทศที่มีเงินทุนไหลเข้าไปลงทุนจำนวนมาก ถึงกับเรียกประเทศมาเลเซียว่า "Silicon Peninsular" หลังจากประกอบเสร็จส่วนใหญ่ก็จะส่งกลับสหรัฐเพื่อผลิตในขั้ยตอนสุดท้ายต่อไป

ลักษณะการตลาดของผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของสหรัฐ ที่เห็นได้ชัดคือ

1. ผู้ผลิตเพื่อใช้ในบริษัทของตนเอง หรือในสินค้าของตนเอง (captive firms) จะผลิตเพื่อขายสู่ตลาดจำนวนน้อย มีการจำกัดความของผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำเพื่อใช้เอง โดย Integrated Circuit Engineering Corporation ว่าจะผลิตเพื่อขายแก่ตลาดน้อยกว่า 1 ใน 4 ของการผลิตทั้งหมด และเนื่องจากการผลิตสารกึ่งตัวนำต้องใช้ทุนสูงมาก การที่จะผลิตเพื่อใช้ในบริษัทตนเอง นั้นเป็นการค่อนข้างจำกัดตลาด บริษัทประเภทนี้จึงต้องมีลักษณะเป็นบริษัทขนาดใหญ่ สินค้าของบริษัทต้องมีหลายชนิดและแพร่หลาย และมีการรวมกลุ่มในเครือบริษัทในแนวตั้ง (vertical integration) สูงได้แก่ บริษัท IBM , AT&T, Hewlett-Packard, DEC เป็นต้น สาเหตุใหญ่ที่ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำจะผลิตไว้ใช้เองก็คือ ทำให้สามารถพัฒนาและป้องกันการลอกเลียนการออกแบบวงจรรวม ทำให้สินค้าของบริษัทนั้นๆมีความแตกต่างจากผู้ผลิตรายอื่น และสามารถจะควบคุมคุณภาพ ความน่าเชื่อถือ และจำนวนการผลิต ให้เพียงพอตามความต้องการได้ แต่การที่ผู้ผลิตมีลักษณะการผลิตเพื่อใช้ในบริษัทตนเองนั้นก็มีข้อเสียคือ ทำให้ต้นทุนการลงทุน และการวิจัยและพัฒนาสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยผู้ผลิตจะต้องผลิตสินค้าจำนวนมากเพื่อกระจายต้นทุนคงที่เช่น ต้นทุนวิจัยและการพัฒนาออกไปให้มากที่สุด อีกทั้งยังขาดเสียงสะท้อนกลับจากตลาดโดยตรง เพื่อที่จะเป็นแรงผลักดันให้พยายามลดต้นทุนลง ซึ่งในปี 1991 นี้ต้นทุน

การผลิตและการวิจัยและพัฒนาสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้สัดส่วนการผลิตเพื่อใช้ในบริษัทของตนเองของสหรัฐคงที่ และมีแนวโน้มที่ผู้ผลิตจะมุ่งไปสู่การขายในตลาดเปิดมากขึ้น โดยผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำประเภทเพื่อใช้ในสินค้าตนเองรายใหญ่สุดในโลก คือ IBM เป็นบริษัทประเภทผลิตเพื่อใช้ในสินค้าตนเองรายใหญ่รายเดียวในสหรัฐที่มีฐานการผลิตอยู่นอกประเทศ คือในเยอรมัน ฝรั่งเศส และญี่ปุ่น

2. ผู้ผลิตเพื่อขายแก่ตลาดเป็นส่วนใหญ่ อาจจะใช้ในเครือบริษัทของตนเองบ้าง (merchant firms) ผู้ผลิตสหรัฐจะเป็นลักษณะประเภทนี้เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ บริษัท Intel, Advance Micro Device, National Semiconductor เป็นต้น แนวโน้มของอุตสาหกรรมในผู้ผลิตส่วนนี้ สหรัฐยังคงเป็นผู้นำ microprocessor อยู่ และเน้นในการผลิตที่ใช้เทคโนโลยี ASIC เพิ่มขึ้น เนื่องจากสหรัฐชำนาญในด้านการออกแบบ เช่น standard-cell, gate-array และ non-standard product และมีแนวโน้มที่บริษัทผลิตเพื่อขายแก่ตลาดเป็นส่วนใหญ่ จะหันมาให้ความสนใจกับการผลิตสินค้าปลายน้ำ (downstream industry) กันมากขึ้น โดยมีเหตุผลหลักคือ

- การออกแบบวงจรรวม ซับซ้อนมากขึ้นเพื่อสนองตอบสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ที่ซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นการที่บริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ จะมาผลิตสินค้าเองด้วย ก็จะเป็นการผลิตที่มีประสิทธิภาพ โดยจะมีการร่วมพัฒนาสินค้า และการออกแบบวงจรรวมไปพร้อมๆ กัน ทำให้ไม่ต้องลงทุนใน R&D ซ้ำซ้อน

- ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำเล็งเห็นว่าการผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้มากกว่าการผลิตสารกึ่งตัวนำแต่อย่างเดียว และเชื่อว่ายอดขายของสินค้านั้นไม่ค่อยแปรปรวนเหมือนกับสารกึ่งตัวนำ

- มีการผลิตสารกึ่งตัวนำโดยผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์เพิ่มมากขึ้น เป็นการผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำ ของผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ (upstream industry) ทำให้ผู้ผลิตสาร

กึ่งตัวนำถูกแข่งขันโดยผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์มากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำต้องป้องกันตนเอง โดยรุกเข้าไปในตลาดของผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์บ้าง

แต่การที่บริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ จะก้าวไปผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ ก็ต้องประสบปัญหา เนื่องจากผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำมักจะขาดประสบการณ์ทางการตลาดที่จำเป็นที่จะจำหน่ายสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ ตัวอย่างเช่น บริษัท Intel และ Mostek ต้องถอนตัวออกจากตลาดการผลิตนาฬิกาควอทซ์ Rockwell ก็ต้องถอนตัวออกจากการผลิตเครื่องคิดเลข แม้ว่าในระยะแรกจะประสบความสำเร็จก็ตาม หรือแม้แต่ยักษ์ใหญ่ในการผลิตสารกึ่งตัวนำของประเทศสหรัฐ Texas Instruments แม้จะประสบความสำเร็จในรูปของส่วนแบ่งทางการตลาด แต่ก็ไม่ใช่ส่วนที่ทำกำไรให้บริษัท ทำให้ต้องถอนสินค้าออกจากตลาดไปหลายชนิด

การค้าระหว่างประเทศในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของสหรัฐ โดยมากจะเป็นการค้าระหว่างภายในบริษัท และที่เกี่ยวข้องกับการประกอบนอกประเทศ ก่อนปี 1968 สหรัฐเก็บภาษีนำเข้าสารกึ่งตัวนำ 12.5 % และได้ลดลงมาเหลือ 6 % ในปี 1972 อันเป็นผลมาจากการเจรจาการค้าในรอบเคนเนดี และลดจนเหลือ 4.2 % หลังการเจรจารอบโตเกียว และสุดท้ายสหรัฐก็ยกเลิกการเก็บภาษีในปี 1985 หลังจากได้ทำข้อตกลงในเรื่องสารกึ่งตัวนำกับญี่ปุ่นสำเร็จ (Chip pact) ซึ่งมีผลบังคับใช้ในปี 1986

ดุลการค้าของสารกึ่งตัวนำในระยะแรกสหรัฐได้เปรียบดุลการค้ามาโดยตลอด จนกระทั่งในปี 1978 เป็นต้นมาประเทศสหรัฐก็ส่งออกสารกึ่งตัวนำน้อยกว่านำเข้าจากต่างประเทศ และการขาดดุลการค้าของสหรัฐในสารกึ่งตัวนำก็ได้เพิ่มมากขึ้นทุกปี ดังตารางที่ 3.7 แต่การดูตัวเลขการส่งออก และนำเข้าสารกึ่งตัวนำของสหรัฐ ต้องพิจารณาอย่างระมัดระวัง เนื่องจากการส่งออกของสหรัฐส่วนมากเป็นการส่งสินค้าที่กึ่งสำเร็จ (semifinished product) ไปยังประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งต้องมีการประกอบและทดสอบก่อนออกขาย และจำนวนมากของการส่งออกไปยังประเทศกำลังพัฒนา ก็ได้มีการส่งคืนกลับมายังประเทศสหรัฐหลังจากที่ประกอบเสร็จ ส่วนที่เหลือก็จะขายในตลาดต่างประเทศหลังจากประกอบเสร็จ ทำให้ตัวเลขนำเข้าสหรัฐอาจจะสูงกว่าความเป็นจริง

ตารางที่ 3.7 มูลค่าการค้าสารกึ่งตัวนำของประเทศสหรัฐ หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| ปี | มูลค่าการส่งออก | มูลค่าการนำเข้า | ดุลการค้า |
|---|---|---|---|
| 1966 | 130 | 50 | 80 |
| 1967 | 152 | 50 | 102 |
| 1968 | 204 | 86 | 118 |
| 1969 | 336 | 134 | 202 |
| 1970 | 395 | 168 | 227 |
| 1971 | 360 | 187 | 173 |
| 1972 | 466 | 329 | 137 |
| 1973 | 888 | 611 | 277 |
| 1974 | 1310 | 953 | 357 |
| 1975 | 1071 | 802 | 269 |
| 1976 | 1461 | 1098 | 363 |
| 1977 | 1389 | 1358 | 31 |
| 1978 | 1628 | 1775 | -147 |
| 1979 | 2155 | 2427 | -272 |
| 1980 | 2796 | 3326 | -530 |
| 1981 | 2791 | 3553 | -762 |
| 1982 | 2950 | 4128 | -1178 |

ที่มา: Grunwald and Flamn (1985), Finan (1975)

สำหรับการค้าของสหรัฐกับประเทศญี่ปุ่น ดังตารางที่ 3.8 สหรัฐในระยะแรกก็มีดุลการค้าในสารกึ่งตัวนำเหนือประเทศญี่ปุ่น จนในปี 1980 และ 1981 มูลค่าการนำเข้าสารกึ่งตัวนำจากญี่ปุ่นเริ่มมากกว่ามูลค่าการส่งออกของสหรัฐไปญี่ปุ่น แต่ใน 2 ปีนี้มูลค่าการขาดดุลการค้าในสารกึ่งตัวนำของสหรัฐต่อญี่ปุ่นยังไม่สูงมากนัก แต่ในปี 1982 เป็นต้นมามูลค่าการขาดดุลในสารกึ่งตัวนำต่อญี่ปุ่นสูงขึ้นเรื่อยๆ และโดยเฉพาะในปี 1984 ดุลการค้าของประเทศสหรัฐขาดดุลญี่ปุ่นเป็นจำนวนที่สูงมากถึง 878.2 ล้านเหรียญสหรัฐ แต่ในปี 1985 ยอดขาดดุลการค้าของสหรัฐลดลงมามากเหลือเพียง 394.5 ล้านเหรียญสหรัฐ เนื่องมาจากความถดถอยของอุตสาหกรรมของสหรัฐทำให้อุปสงค์ต่อสารกึ่งตัวนำลดลงไปมาก ทำให้การนำเข้าน้อยลง

ประเทศญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นนั้นมีจุดแข็งใน MOS IC โดยเฉพาะในส่วน memory ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้ครองตลาดส่วนใหญ่อยู่ จากตารางที่ 3.9 เราจะพบถึงความสำคัญของประเทศญี่ปุ่นในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ จากตารางจะเห็นว่า 6 บริษัทผู้นำที่ผลิตสารกึ่งตัวนำของประเทศญี่ปุ่น มียอดขายโดยรวมเท่ากับ 21.3 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 1990 ขณะที่ยอดขายรวมทั่วโลกเท่ากับ 57.4 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็น 37 % ของยอดขายรวมทั่วโลก จะเห็นว่าในตลาดโลกโดยรวมนั้นญี่ปุ่นก็ได้เป็นผู้นำตลาดแล้ว และในตลาดของญี่ปุ่นเองนั้นก็ยากที่ผู้ผลิตต่างประเทศจะเข้ามาในตลาด โดยญี่ปุ่นครองตลาดอยู่มากกว่า 80 % ในปี 1990 ถ้าดูยอดขายสารกึ่งตัวนำต่อยอดขายรวมของบริษัทญี่ปุ่น จะพบว่าแต่ละบริษัทมีสัดส่วนไม่เกิน 20 % ขณะที่บริษัทของประเทศสหรัฐมีสัดส่วนสูง 33 % ถึง 76 % ซึ่งจากตัวเลขนี้คงจะพอบอกได้ว่า บริษัทสหรัฐนั้นพึ่งกับสารกึ่งตัวนำอย่างมาก อุตสาหกรรมปลายน้ำอื่นๆที่จะมารองรับมีจำนวนน้อย ดังนั้นผลผลิตสารกึ่งตัวนำที่ออกมาก็ต้องเข้าไปแข่งขันกับตลาดทั่วไป มากกว่าไปใช้ภายใน ถ้าเกิดความผันผวนในตลาดของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ก็จะทำให้บริษัทของสหรัฐประสบปัญหามาก ขณะที่บริษัทญี่ปุ่นมีสัดส่วนยอดขายสารกึ่งตัวนำต่อยอดขายทั้งหมดไม่สูงมากนัก แสดงว่าบริษัทญี่ปุ่นมีอุตสาหกรรมต่างๆในบริษัทที่เป็นแหล่งรายได้ที่มากกว่า มารองรับ และสารกึ่งตัวนำที่ผลิตออกมาได้ส่วนมากก็มีอุปสงค์จากสินค้าในบริษัทอยู่แล้ว อีกทั้งกรณีที่อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำอยู่ในช่วงที่ภาวะไม่ดี บริษัทญี่ปุ่นก็จะไม่

ตารางที่ 3.8 ดุลการค้าวงจรรวมระหว่างญี่ปุ่นและสหรัฐ

หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| ปี | ญี่ปุ่น ส่งออก | ญี่ปุ่น นำเข้า | ดุลการค้า |
|---|---|---|---|
| 1979 | 184.3 | 326.8 | -142.5 |
| 1980 | 319.3 | 307.0 | 12.3 |
| 1981 | 322.8 | 319.7 | 3.2 |
| 1982 | 468.9 | 335.2 | 133.7 |
| 1983 | 776.0 | 453.0 | 322.9 |
| 1984 | 1567.0 | 688.8 | 878.2 |
| 1985 | 920.2 | 525.7 | 394.5 |
| 1986 | 972.6 | 653.3 | 319.2 |
| 1987 | 1350.9 | 824.1 | 526.8 |

ที่มา:กระทรวงการคลังญี่ปุ่น (1988)

ตารางที่ 3.9 ยอดขายสารกึ่งตัวนำและยอดขายรวมของบริษัท 10 อันดับแรกในปี 1990

(หน่วย:พันล้านเหรียญสหรัฐ)

| ชื่อบริษัท | ยอดขายสารกึ่งตัวนำ | ยอดขายรวม | สัดส่วนยอดขายสารกึ่งตัวนำต่อยอดขายรวม(%) |
|---|---|---|---|
| 1.NEC | 4.95 | 24.2 | 20.5 |
| 2.Toshiba | 4.91 | 29.8 | 16.5 |
| 3.Hitachi | 3.93 | 49.7 | 7.9 |
| 4.Motorola | 3.69 | 10.9 | 33.8 |
| 5.Intel | 3.14 | 4.1 | 76.6 |
| 6.Fujitsu | 3.02 | 17.9 | 16.9 |
| 7.TI | 2.57 | 6.6 | 39.0 |
| 8.Mitsubishi | 2.48 | 20.1 | 12.3 |
| 9.Matsushita | 1.95 | 42.1 | 4.6 |
| 10.Philips | 1.93 | 30.6 | 6.3 |

ที่มา:Dataquest (1990)

เดือดร้อนมากนัก เพราะมีอุตสาหกรรมปลายน้ำมารองรับ ซึ่งสินค้าในขั้นนี้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้มากกว่าสารกึ่งตัวนำ หรือถ้าดูในระดับจุลภาคในประเทศญี่ปุ่น ก็จะพบว่าอุตสาหกรรมในประเทศถูกครองโดยบริษัทขนาดใหญ่ไม่กี่บริษัท ทั้งในด้านการผลิตและบริโภค ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ผลิตรายใหญ่ที่มีการรวมกลุ่มกันสูง หรือที่เรียกกันในญี่ปุ่นว่า keiretsu เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีธนาคารเป็นศูนย์กลางช่วยเหลือทางการเงิน ทำให้ต้นทุนของเงินทุนของบริษัทญี่ปุ่นต่ำกว่า กลุ่มนี้มีการรวมตัวกันอย่างหลวมๆ โดยการถือหุ้นซึ่งกันและกัน มีความสัมพันธ์ในการซื้อ - ขายสินค้าซึ่งกันและกัน ดังตารางที่ 3.10 ที่แสดงถึงการรวมกลุ่มของญี่ปุ่นในแนวตั้ง (vertical integration) หรือ keiretsu ของญี่ปุ่น จะเห็นว่าแต่ละบริษัทที่เป็นผู้นำในการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่น ได้แก่ NEC Mitsubishi Toshiba Hitachi Fujitsu ต่างก็มีบริษัทในเครืออุดหนุนซึ่งกันและกัน ทั้งด้านการเงินผ่านธนาคารในเครือ (ซึ่งในปี 1991 การจัดอันดับธนาคารที่มีสินทรัพย์มากที่สุด ก็เป็นของธนาคารของญี่ปุ่น ซึ่งได้นำหน้าสหรัฐไปแล้วมาหลายปีแล้ว) ด้านบริษัทจัดการทางการค้า ด้านการก่อสร้าง ด้านอุปกรณ์อุตสาหกรรม ด้านการขนส่งเป็นต้น จากความสัมพันธ์กันในกลุ่มของบริษัทญี่ปุ่นนี้ทำให้บริษัทญี่ปุ่นมีพลังในการผลิต และการแข่งขันที่สูงมาก อีกทั้งประเทศญี่ปุ่นมีตลาดในประเทศค่อนข้างใหญ่ สามารถรองรับผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตในประเทศได้มาก

และจากตารางที่ 3.11 ที่แสดงมูลค่าการนำเข้าและส่งออกสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่น จะพบว่า ตลาดต่างประเทศของญี่ปุ่นส่วนใหญ่ จะเป็นสหรัฐ และญี่ปุ่นก็นำเข้าจากสหรัฐมากที่สุดเช่นกัน โดยในปี 1987 ญี่ปุ่นส่งออกไปสหรัฐเป็นมูลค่าถึง 1351 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็น 33 % ของการส่งออกทั้งหมด และส่งออกไปกลุ่มประเทศยุโรปเป็นมูลค่า 590 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 14 % ของการส่งออกทั้งหมด ขณะที่ญี่ปุ่นนำเข้าจากประเทศสหรัฐสูงถึง 824.1 ล้านเหรียญสหรัฐหรือ 73 % ของการนำเข้าทั้งหมด และนำเข้าจากกลุ่มประเทศยุโรปเพียง 134 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 11 %

ตารางที่ 3.10 การรวมกลุ่มในแนวตั้งของบริษัทญี่ปุ่น

| ประเภทกิจการ | Mitsubishi | Mitsui | Sumitomo | Fuji Bank | DKB | Sanwa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| การเงิน | Mitsubishi Bank | Mitsui Kobe Bank | Sumitomo Bank | Fuji Bank | Daichi Kangyo Bank | Sanwa Bank |
| คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ | Mitsubishi Electronics | Toshiba | NEC | Oki electric Hitachi | Fujitsu Hitachi | Hitachi Kyocera Sharp |
| ตัวแทนการค้า | Mitsubishi | Mitsui | Sumitomo | Marubeni | C.Itoh | Nichimen |
| ก่อสร้าง | Mitsubishi Construction | Mitsui Construction | Sumitomo Const. | Taisei | Shimizu | Tokyo Const. |
| อุปกรณ์อุตสาหกรรม | Mitsubishi Heavy Indust. | Mitsui engineer | Sumitomo Heavy indust | Kubota Nippon Seiko | Kawasaki heavy ind. | NTN |
| เลนส์ | Nikon | | | Canon | Asahi | Hoya |
| การขนส่ง | Nippon Yusen | Mitsui OSK | Sumitomo warehouse | Showa line | Kawasaki Kisen | Nippon Express |

ที่มา: Business Week (December 1991)

ตาราง 3.11 มูลค่านำเข้าและส่งออกในวงจรรวมของญี่ปุ่น หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| | | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมทั้งหมด | ส่งออก | 477.6 | 808.4 | 891.4 | 1144.2 | 1784.3 | 3270.5 | 2439.0 | 3104.1 | 4095.7 |
| | นำเข้า | 434.4 | 480.3 | 504.7 | 511.5 | 642.5 | 935.5 | 693.4 | 867.0 | 1124.9 |
| | ดุลการค้า | 43.2 | 328.1 | 386.8 | 632.7 | 1141.8 | 2335.0 | 1745.6 | 2237.1 | 2970.8 |
| สหรัฐ | ส่งออก | 184.4 | 319.3 | 322.8 | 468.9 | 776.0 | 1567.0 | 920.2 | 972.6 | 1350.9 |
| | นำเข้า | 326.8 | 307.0 | 319.7 | 335.2 | 453.0 | 688.8 | 525.7 | 653.3 | 824.1 |
| | ดุลการค้า | -142.5 | 12.3 | 3.2 | 133.7 | 322.9 | 878.2 | 394.5 | 319.2 | 526.8 |
| กลุ่มยุโรป | ส่งออก | 55.1 | 139.4 | 127.0 | 168.2 | 232.4 | 501.9 | 457.8 | 543.0 | 589.7 |
| | นำเข้า | 38.8 | 63.9 | 62.1 | 47.8 | 51.4 | 57.7 | 57.9 | 103.3 | 134.1 |
| | ดุลการค้า | 16.3 | 75.4 | 64.8 | 120.4 | 181.0 | 444.2 | 399.9 | 439.7 | 455.6 |
| อื่นๆ | ส่งออก | 238.2 | 349.7 | 441.6 | 507.1 | 776.0 | 1201.6 | 1061.0 | 1588.5 | 2155.0 |
| | นำเข้า | 68.8 | 109.4 | 122.9 | 128.5 | 138.1 | 189.0 | 109.8 | 110.4 | 166.6 |
| | ดุลการค้า | 169.4 | 240.4 | 318.8 | 378.6 | 637.9 | 1012.5 | 951.2 | 1478.2 | 1988.4 |

ที่มา:กระทรวงการคลังประเทศญี่ปุ่น (1988)

## กลุ่มประเทศยุโรป

กลุ่มผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของยุโรปจะมีลักษณะเป็นการรวมกลุ่มแนวตั้งขนาดใหญ่ของผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ คล้ายกับผู้ผลิตของประเทศญี่ปุ่น และผลิตเพื่อใช้ในบริษัทของตนเองเป็นหลัก ทำให้ปริมาณและมูลค่าการขายยังคงต่ำกว่าของสหรัฐ และญี่ปุ่นอยู่มาก การผลิตของกลุ่มประเทศยุโรปก็จะผลิตเพื่อขายส่วนใหญ่แก่ผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ในยุโรป โดยเฉพาะคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์โทรคมนาคม เทียบกับสหรัฐที่เน้นในคอมพิวเตอร์เป็นหลัก และญี่ปุ่นที่เน้นในคอมพิวเตอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยจำนวนขายน้อยมากในสหรัฐและญี่ปุ่น หรือในตลาดต่างประเทศอื่นๆ บริษัทที่เป็นผู้นำในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของกลุ่มประเทศยุโรปคือ บริษัท Philips (โดยรวมบริษัท Signetics ของสหรัฐที่ Philips ซื้อไว้ด้วย) โดยบริษัท Philips มียอดขายทั้งหมดในปี 1990 เท่ากับ 30.6 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยเป็นยอดขายสารกึ่งตัวนำเกือบ 2 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 6.3 % ของยอดขายรวม บริษัทอันดับสองในกลุ่มประเทศยุโรปคือ บริษัท Fairchild แม้ว่าชื่อบริษัทจะดูเหมือนเป็นของสหรัฐ แต่บริษัท Schlumberger ของฝรั่งเศสที่ดำเนินงานในเนเธอร์แลนด์ได้ซื้อ Fairchild ในปี 1979 แต่หลังจากนั้น Schlumberger ก็ประสบปัญหาการขาดทุนอย่างหนัก จึงขาย Fairchild ให้กับ Fujitsu ของประเทศญี่ปุ่น ในปี 1986 แต่ถูกคัดค้านอย่างมากจากกลุ่มประเทศยุโรป ทำให้ Fujitsu ถอนตัวออกไปในปี 1987 ดังนั้นผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำอันดับที่สองขึ้นมาแทนคือ Siemens AG โดยเป็นบริษัทยุโรปบริษัทแรกที่ผลิต DRAM 64 Kbit แต่ต่อมาก็ต้องเสียตำแหน่งอันดับ 2 ให้กับกลุ่มผู้ผลิตรายใหญ่คือ SGS ของอิตาลี และ Thompson-CSF ของฝรั่งเศส เพราะเมื่อไม่นานมานี้ SGS และ Thompson-CSF ตกลงที่จะร่วมเป็นกลุ่มเดียวในการผลิตสารกึ่งตัวนำ อีกทั้งต่อมายังรวมบริษัท Inmos ของอังกฤษเข้าเป็นกลุ่มเดียวกันอีก ทำให้ กลุ่ม SGS/Thompson/Inmos เลื่อนขึ้นมาเป็นอันดับ 2 ในยุโรปแทน Siemens ที่ตกลงมาเป็นอันดับ 3 อันดับ โดยยอดขายสารกึ่งตัวนำในปี 1990 ของ SGS/Thompson/Inmos ประมาณ 1200 ล้านเหรียญสหรัฐ ขณะที่ยอดขายของ Siemens เท่ากับ 1 พันล้านเหรียญสหรัฐ

นโยบายของกลุ่มประเทศยุโรปจะเป็นการค้าแบบปกป้อง (protectionist) โดยการนำเข้าสารกึ่งตัวนำจากภายนอกกลุ่ม มีอัตราภาษีศุลกากร สูงถึง 17 % แม้จะมีการเจรจา

GATT ในรอบเคนเนดี้และโตเกียว อัตราภาษีก็ไม่ได้ลดลง อีกทั้งยังมีการเลือกปฏิบัติในการจัดซื้อสารกึ่งตัวนำของรัฐบาล ซึ่งจะให้สิทธิแก่ผู้ผลิตในกลุ่มประเทศมากกว่า ทำให้มีการย้ายฐานการผลิตของประเทศสหรัฐและญี่ปุ่นไปลงทุนในกลุ่มประเทศยุโรปมาก เพื่อให้เข้ากับกฎของถิ่นกำเนิด (rule of origin) ของยุโรปเพื่อหลีกเลี่ยงอัตราภาษีนำเข้าที่สูง โดยจะเสียเพียงภาษีนำเข้าเฉพาะ wafer ที่ผ่านขบวนการเจือสารแล้วเพียง 9 % เพื่อนำมาประกอบและทดสอบในยุโรป โดยระยะแรกการนับกฎของถิ่นกำเนิดในสารกึ่งตัวนำนั้น การประกอบและทดสอบ wafer ที่ผ่านการเจือสารมาแล้วจากบริษัทแม่ ก็ถือเป็นถิ่นกำเนิดในยุโรป แต่ในปี 1992 ที่จะมีการรวมตลาดร่วมยุโรปเป็นตลาดเดียว (single market) นั้น การนับถิ่นกำเนิดจะเปลี่ยนไปคือการประกอบและทดสอบในยุโรปจะไม่นับเป็นสินค้าที่ผลิตในยุโรป จะต้องเสียภาษีในอัตราทั่วไปคือ 17 % โดยจะนับถิ่นกำเนิดเฉพาะที่มีการเจือสารในยุโรป บริษัทของญี่ปุ่นที่ไปลงทุนในยุโรปนั้นโดยมากจะเป็นตัวแทนขาย (point-of-sale) ในยุโรปคือนำเข้า wafer ที่ผ่านขบวนการเจือสารในบริษัทแม่แล้วนำเข้ามาประกอบและทดสอบในยุโรป มากกว่ากระบวนการปลูกผลึก ซึ่งจากกฎถิ่นกำเนิดใหม่นี้ยิ่งทำให้ประเทศญี่ปุ่นประสบปัญหาในการแข่งขันในยุโรปเพิ่มขึ้นอีก และเป็นที่น่าสังเกตุว่าการที่กลุ่มประเทศยุโรป มีการปกป้องตลาดโดยตั้งอัตราภาษีนำเข้าไว้สูง ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้กลุ่มประเทศยุโรปไม่สามารถครองความเป็นหนึ่งในตลาดตัวเองได้ เนื่องจากกลุ่มประเทศยุโรป มีการประกอบและทดสอบนอกประเทศเพื่อได้เปรียบจากแรงงานที่ถูกในต่างประเทศน้อยมาก เพราะถ้าประกอบและทดสอบในต่างประเทศเมื่อนำเข้ามาในยุโรป ก็จะไม่นับว่าเป็นสินค้าที่มีถิ่นกำเนิดในยุโรป ต้องเสียภาษีในอัตรา 17 % แม้ว่าจะได้ผลิตและเจือสารโดยบริษัทยุโรปก็ตาม

ในตลาดของกลุ่มประเทศยุโรปนั้นเป็นที่น่าสังเกตว่าผู้ครองตลาดรายใหญ่คือสหรัฐ รองลงมาก็เป็นกลุ่มประเทศยุโรปเอง โดยญี่ปุ่นมีสัดส่วนน้อยมาก โดยในปี 1990 ขนาดของตลาดมีมูลค่า 10.7 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยสหรัฐมีส่วนแบ่งถึง 4.5 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 42 % ของมูลค่าตลาดทั้งหมด กลุ่มประเทศยุโรปมีส่วนแบ่ง 4.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 38 % ขณะที่ประเทศญี่ปุ่นมีส่วนแบ่งเพียง 1.8 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 17 % เหตุที่ประเทศญี่ปุ่นมีส่วนแบ่งน้อยในตลาดกลุ่มประเทศยุโรป เนื่องจากนโยบายการป้องกันการค้าที่ทำให้อัตราภาษีนำเข้าสูง ขณะที่ญี่ปุ่นมีโรงงานในกลุ่มประเทศยุโรปน้อย เมื่อเทียบกับประเทศสหรัฐซึ่งไปตั้งโรง

งานในกลุ่มประเทศยุโรปเป็นจำนวนมาก ทำให้สินค้าของญี่ปุ่นมีราคาที่สูงกว่าของสหรัฐ แต่ประเทศญี่ปุ่นก็มีแนวโน้มจะเพิ่มส่วนแบ่งในกลุ่มประเทศยุโรปได้เรื่อยๆ จากเดิม 2 % ในปี 1977 เป็น 10 % ในปี 1984 และเป็น 17 % ในปี1990

**ประเทศเกาหลีใต้**

ในประเทศเกาหลีใต้มีบริษัทขนาดใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารกึ่งตัวนำ 4 บริษัท คือ Sumsung, Hyundai, Daewoo และ Gold Star นโยบายหลักของเกาหลีคือการพัฒนาการออกแบบ และความสามารถในการผลิตวงจรรวม โดยเน้นใน standard product โดยเฉพาะmemory แต่ยังต้องพึ่งเทคโนโลยีจากต่างประเทศอยู่ เป็นที่น่าสังเกตุคือ บริษัทเกาหลีจะพึ่งพาเทคโนโลยีโดยมากจากประเทศสหรัฐมากกว่าประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากเหตุผลที่ค่อนข้างซับซ้อนในเรื่องเกี่ยวกับประวัติศาสตร์ของความสัมพันธ์ของสองชาติที่มีต่อกัน โดยในระยะเริ่มแรกจะส่งคนไปฝึกงานกับบริษัทสหรัฐและผลิตที่สหรัฐก่อน และกลับมาที่เกาหลีใต้ผลิตในระยะต่อมา การผลิตของเกาหลีนั้นพึ่งตลาดต่างประเทศค่อนข้างมาก เนื่องจากตลาดภายในประเทศมีขนาดเล็ก

บริษัท 3 ใน 4 บริษัท คือ Sumsung, Gold Star และ Daewoo เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ในการผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ แต่บริษัท Hyundai นั้นเป็นบริษัทเดียวที่ไม่มีประสบการณ์ในด้านนี้มาก่อน การที่เข้ามาในอุตสาหกรรมนี้เป็นการเชื่อมโยงกับการผลิตคอมพิวเตอร์ การที่อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในเกาหลีสามารถพัฒนามาได้อย่างรวดเร็วนั้น เป็นเพราะบริษัทในเกาหลีผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำจะเป็นผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์และมีบริษัทในเครือจำนวนมาก ซึ่งเรียกกันว่า chaebol เป็นการรวมกลุ่มในแนวตั้ง (vertical integration) คล้าย keiretsu ของญี่ปุ่น ทำให้การผลิตสารกึ่งตัวนำที่เกาหลีผลิตออกมานั้น มีอุปสงค์จากบริษัทในเครือจำนวนแน่นอน ทำให้ลดความเสี่ยงในการผลิตได้ และรัฐบาลของเกาหลีให้ความสนับสนุนในการทำวิจัยและการพัฒนาเป็นเงินจำนวนมากถึง 600 ล้านเหรียญสหรัฐในระยะเริ่มต้นผ่านกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของเกาหลี

ในด้านการผลิตสารกึ่งตัวนำนั้นแม้ว่าจะน้อยกว่าการผลิตของสหรัฐและญี่ปุ่น แต่ก็เป็นประเทศที่น่าจับตามอง เพราะเติบโตขึ้นมาในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำได้อย่างรวดเร็ว ผลผลิตสารกึ่งตัวนำของเกาหลีมีมูลค่าถึง 6.4 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 1991 และคาดว่าจะสูงถึง 11.2 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 1994 ดังตารางที่ 3.12

บริษัท Sumsung เป็นผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำรายใหญ่ที่สุดในเกาหลี โดยได้เริ่มผลิตตั้งแต่ช่วงกลางทศวรรษ 1970 ในการผลิต discrete devices, bipolar linear ICs ต่อมาในปี 1984 เริ่มผลิต 64 KbitDRAM ได้ด้วยความช่วยเหลือจากสหรัฐคือ Micron Technologies และ Intel โดยผลิต 256 KbitDRAM ได้ในปี 1985 และเป็นผู้ผลิตเพื่อป้อนให้ Intel และ IBM ส่วน Gold Star ก็ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีจาก AT&T

ตารางที่ 3.12 แสดงมูลค่าการผลิตสารกึ่งตัวนำของประเทศเกาหลีใต้

(หน่วย:พันล้านเหรียญสหรัฐ)

| | |
|---|---|
| 1987 | 2.3 |
| 1988 | 3.2 |
| 1989 | 4.3 |
| 1990 | 5.4 |
| 1991 | 6.4 |
| 1992 | 7.8 |
| 1993 | 9.3 |
| 1994 | 11.2 |

ที่มา : Korean Institute for Economics and Technology (KIET)

## 3.4 ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อการแข่งขันในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

### 3.4.1 จำนวนเงินลงทุน (capital requirements)

จากความซับซ้อนของวงจรรวมที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนเงินลงทุนในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรที่มีความละเอียดมาก เป็นแบบที่อัตโนมัติเพิ่มขึ้น และอุปกรณ์การทดสอบที่ใช้คอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งเงื่อนไขนี้บริษัทที่จะอยู่ในอุตสาหกรรมนี้ได้ ต้องเป็นบริษัทขนาดใหญ่ และมีทุนสูง โดยเฉพาะในการเจือสาร ซึ่งเป็นต้นทุนส่วนสำคัญที่สุดของการผลิตสารกึ่งตัวนำ ประมาณว่าในปี 1991 ต้นทุนโรงงานเจือสารสูงถึง 700 ล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 1.2

ส่วนในด้านเงินลงทุนรวมของบริษัทประเทศผู้นำทั้งสหรัฐและญี่ปุ่น ดังตารางที่ 3.13 พบว่าทั้งสหรัฐและญี่ปุ่นได้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุนอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ในระยะแรกช่วงต้นทศวรรษ 1970 ที่สหรัฐเป็นผู้นำอุตสาหกรรมนี้อยู่ งบประมาณการลงทุนสูงกว่าญี่ปุ่นประมาณ 3 เท่า แต่หลังจากปี 1984 เป็นต้นมาประเทศญี่ปุ่นก็ได้ลงทุนเป็นมูลค่ามากกว่าสหรัฐ และในปี 1974-1975 เป็นช่วงถดถอย เงินลงทุนของทั้งสองประเทศลดลงมามาก โดยประเทศญี่ปุ่นเริ่มฟื้นการลงทุนในปี 1976 และเงินลงทุนเพิ่มมาโดยตลอดจนถึงในปัจจุบัน (ปี 1992) แต่สหรัฐยังคงไม่ฟื้นตัวมากนักในปี 1976 การที่สหรัฐฟื้นตัวช้าส่งผลให้เกิดการขาดแคลนสารกึ่งตัวนำในสหรัฐในช่วงนั้น เป็นการเปิดโอกาสให้ญี่ปุ่นเข้ามาในตลาดสหรัฐเพิ่มขึ้น และต่อมาในปี 1981-1982 ก็เป็นช่วงถดถอยในอุตสาหกรรมนี้ของสหรัฐอีกครั้ง ทำให้เงินลงทุนลดลงเล็กน้อย และเป็นที่น่าสังเกตุคือในปี 1984 มีเงินลงทุนเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งสหรัฐและญี่ปุ่น เนื่องมาจากการใช้เงินทุนในการคิดค้น 1 Mbit DRAM

ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนของญี่ปุ่น ดังตารางที่ 3.14 นั้นสัดส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนของสารกึ่งตัวนำต่อมูลค่าผลผลิตสารกึ่งตัวนำ อยู่ในระดับสูงกว่ามาก 20 ถึง 40 กว่าเปอร์เซ็นต์ หรือจากตัวเลขค่าใช้จ่ายในการลงทุนในสารกึ่งตัวนำต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด ก็อยู่ในระดับสูงถึง 15 ถึง 40 กว่าเปอร์เซ็นต์ จากตัวเลขสัดส่วนจะสังเกตุได้ว่าบริษัท

ตารางที่ 3.13 จำนวนเงินลงทุนรวมในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของสหรัฐและญี่ปุ่น

หน่วยล้านเหรียญสหรัฐ

| ปี | บริษัทญี่ปุ่น | บริษัทสหรัฐ |
|---|---|---|
| 1980 | 701 | 1463 |
| 1981 | 974 | 1520 |
| 1982 | 1124 | 1357 |
| 1983 | 1642 | 1630 |
| 1984 | 3345 | 2874 |
| 1985 | 2960 | 2025 |
| 1986 | 2585 | 1685 |

ที่มา: MITI (1988)

ตารางที่ 3.14 การใช้เงินลงทุนของบริษัทญี่ปุ่น หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| บริษัท | ค่าใช้จ่ายเงินลงทุนรวม | ค่าใช้จ่ายลงทุนในสารกึ่งตัวนำ | ค่าใช้จ่ายลงทุนในสารกึ่งตัวนำต่อยอดขายสารกึ่งตัวนำ (%) | ค่าใช้จ่ายลงทุนในสารกึ่งตัวนำต่อเงินลงทุนรวม (%) |
|---|---|---|---|---|
| Hitachi | 4126 | 601 | 18 | 15.1 |
| Matsushita | 2245 | 456 | 28 | 20.3 |
| NEC | 2176 | 570 | 13 | 26.2 |
| Sony | 2049 | 380 | 43 | 18.6 |
| Toshiba | 2047 | 601 | 14 | 29.4 |
| Fujitsu | 1904 | 700 | 27 | 36.7 |
| Mitsubishi | 1415 | 399 | 19 | 28.2 |
| Sharp | 738 | 285 | 25 | 38.6 |

ที่มา:Electronic Business Asia (various issues)

ของญี่ปุ่นให้ความสำคัญกับสารกึ่งตัวนำมาก โดย Fujitsu เป็นบริษัทที่ลงทุนเป็นมูลค่าสูงที่สุดในบริษัทของญี่ปุ่นคือ 700 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 1990 รองลงมาคือ Toshiba และ Hitachi ซึ่งกลุ่มนี้เป็นผู้นำในการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นอยู่ แต่ถ้าดูในสัดส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนในสารกึ่งตัวนำต่อมูลค่าการผลิตนั้น บริษัท Sony เป็นอันดับหนึ่ง ตามมาด้วย Matsushita ในสัดส่วน 43 % และ 28 % ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตุว่าทั้งบริษัท Sony และ Matsushita ไม่ได้เป็นกลุ่มผู้นำในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ แต่เป็นเพียงผู้ผลิตสินค้าบริโภคอิเล็กโทรนิกส์รายใหญ่ สาเหตุที่สัดส่วนนี้สูงก็คงเป็นเพราะ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้านอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำสูงมาก เป็นต้นทุนคงที่ ต้องมีการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยส่วนหนึ่งไว้ใช้ในสินค้าตนเอง แต่อีกส่วนก็ต้องพึ่งตลาดภายนอก เพื่อทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสารกึ่งตัวนำต่ำลง แต่ทั้งบริษัท Sony และ Matsushita มีตลาดภายนอกน้อยมุ่งผลิตเพื่อใช้ในสินค้าตนเองมากกว่า ทำให้มูลค่าการผลิตสารกึ่งตัวนำไม่มากนัก ด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูง และมีมูลค่าการผลิตออกมาไม่มากนัก จึงทำให้สัดส่วนนี้สูง

จำนวนเงินลงทุนของทั้งสหรัฐ และญี่ปุ่นที่แตกต่างกันนอกจากจะบอกถึงสภาพการแข่งขันของประเทศแล้ว ยังจะบอกถึงต้นทุนของเงินทุนและความยากง่ายที่จะได้ทุนนั้น บริษัทญี่ปุ่นจะได้เปรียบในแง่การได้ทุนมา เพราะบริษัทผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นจะมีธนาคารในเครือที่คอยช่วยเหลือทางด้านการเงิน ทำให้ต้นทุนของเงินทุนต่ำกว่า

3.4.2 ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนา (Research & Development Spending)

ค่าใช้จ่ายส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญ ในการสร้างความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมนี้ การทำ R&D ที่ประสบความสำเร็จ จะนำไปสู่ความได้เปรียบสำหรับบริษัทนั้นๆ แม้ว่าความได้เปรียบนั้นจะอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นก็จะมีคู่แข่งมาเลียนแบบ แต่ค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยและพัฒนาเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เช่นการวิจัยและพัฒนา 4-bit microprocessor ต้องใช้เงินถึง 10 ล้านเหรียญสหรัฐ Intel 8086 16-bit microprocessor ใช้เงินถึง 20 ล้านเหรียญสหรัฐ จนถึง Intel 32-bit 80386 microprocessor มีต้นทุน R&D สูงถึง

100 ล้านเหรียญสหรัฐในการพัฒนา กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินวิจัยและพัฒนาสูงที่สุดในอุตสาหกรรมทั้งหมด

### 3.4.3 การประกอบในต่างประเทศ (offshore assembly)

เนื่องจากการผลิตสารกึ่งตัวนำสามารถแยกขั้นตอนการผลิต ได้หลายขั้นตอนอย่างต่ำ 4 ขั้นตอน ได้แก่การออกแบบ การเจือสาร การประกอบ และการทดสอบ ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถแยกผลิตได้ในประเทศต่างๆกัน โดยที่การผลิตในขั้นสุดท้ายคือ การประกอบและทดสอบ จะเป็นขั้นตอนที่มีการย้ายฐานการผลิตไปในต่างประเทศมากที่สุด โดยสารกึ่งตัวนำที่ผลิตเสร็จ อาจจะขายในประเทศที่ผลิตนั้นหรือในภูมิภาคนั้น บางส่วน และอาจจะส่งออกกลับไปประเทศแม่ หรือประเทศที่สาม การประกอบในต่างประเทศมักจะไปตั้งในประเทศกำลังพัฒนาเพื่อความได้เปรียบในด้านต้นทุนแรงงานที่ต่ำ ในการประกอบโดยใช้แรงงาน และได้ใกล้ชิดกับลูกค้าเพื่อที่จะร่นระยะเวลาในการส่งสินค้า และการประสานงานกับลูกค้า อีกทั้งอาจได้เปรียบในด้านภาษีในบางประเทศเนื่องจากประเทศนั้นต้องการดึงดูดการลงทุนจากต่างประเทศ การไปตั้งโรงงานในต่างประเทศ ถ้าเป็นสินค้าอื่นอาจจะต้องคำนึงถึงค่าขนส่ง แต่ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ค่าขนส่งค่อนข้างต่ำ เพราะสารกึ่งตัวนำนี้มีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับมูลค่า รวมทั้งการเก็บสินค้าคงคลังก็มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ ทำให้ส่วนนี้ไม่มีปัญหากับอุตสาหกรรมนี้ แต่ส่วนที่ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำต้องคำนึงในการไปตั้งโรงงานในต่างประเทศคือ ความเสี่ยงจากปัญหาในประเทศ เช่นความชะงักงันของการขนส่งหรือสื่อสาร ความไม่แน่นอนทางการเมือง หรือปัญหาแรงงาน ซึ่งผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำรายใหญ่ๆ แก้ปัญหาโดยอาจการกระจายโรงงานไปในหลายๆประเทศ หรือก็มีทางเลือกของผู้ผลิตคือการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการประกอบ ทำให้สินค้ามีระดับคุณภาพสูงขึ้น ผลได้จากการผลิตสูงขึ้น และมีส่วนที่เสียใช้ไม่ได้ลดลง หรือการทำสัญญาย่อย (subcontract) ในการประกอบให้กับบริษัทอิสระในประเทศกำลังพัฒนา

การใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการประกอบได้เพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำรายใหญ่ ซึ่งสามารถใช้จ่ายเงินทุนจำนวนมากในการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ โดยเฉพาะในสินค้าที่เป็นมาตรฐานแล้วและมีการผลิตจำนวนมากเช่น MOS memory และขณะที่ความซับซ้อนของ

วงจรรวมได้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ความละเอียดอ่อนของการผลิตก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นก็ย่อมต้องใช้เครื่องจักรในการประกอบมากขึ้นเรื่อยๆ และลดการใช้แรงงานลง แต่วงจรรวมชนิดที่ไม่เป็นมาตรฐาน (non-standard ICs) เช่น ASIC ที่มีอายุสินค้าสั้น และมีการผลิตจำนวนไม่มากนักก็อาจจะใช้ประโยชน์จากแรงงานในการประกอบในต่างประเทศได้อยู่

บริษัทของญี่ปุ่นที่ไปตั้งโรงงานในต่างประเทศ โดยมากจะไม่ค่อยส่งกลับสินค้าที่ประกอบกับไปประเทศญี่ปุ่น (re-export) แต่จะขายสารกึ่งตัวนำที่ประกอบแก่ประเทศนั้น หรือในภูมิภาคนั้น แก่บริษัทผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ในเครือ หรือแก่ตลาดทั่วไป โดยจะมีตัวแทนการขายในแต่ละภูมิภาค ขณะที่สหรัฐมักจะส่งสินค้าที่ประกอบเสร็จกลับประเทศเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป และกลุ่มประเทศยุโรปนั้นมีการใช้ฐานการผลิตนอกกลุ่มประเทศน้อยมาก เนื่องจากกลุ่มประเทศยุโรปอยู่ภายใต้ประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (European Economic Community - EEC) ซึ่งมีการเก็บภาษีนำเข้าสารกึ่งตัวนำจากต่างประเทศสูง เพื่อคุ้มครองอุตสาหกรรม ทำให้อุตสาหกรรมในกลุ่มประเทศยุโรปสามารถผลิตได้ โดยลดแรงกดดันจากการแข่งขันจากต่างประเทศในเรื่องราคาลง โดยอัตราภาษีต่อแผ่น silicon ที่ยังไม่ตัดเท่ากับ 9 % ขณะที่ภาษีสารกึ่งตัวนำเท่ากับ 17 % จากอัตราภาษีที่สูงนี้ทำให้ผู้ผลิตประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐเข้าไปลงทุนประกอบ หรือผลิตครบวงจรใน EC จำนวนมาก

จากตารางที่ 3.15 แสดงฐานการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นในเอเชีย โดยฐานการผลิตนอกประเทศญี่ปุ่นนี้ จะใช้ประกอบและทดสอบวงจรรวมเท่านั้น ไม่ได้ผลิตครบวงจร เนื่องจากต้องการใช้แรงงานราคาถูก เป็นที่น่าสังเกตุว่าบริษัทญี่ปุ่นไปลงทุนในประเทศมาเลเซียมาก เนื่องจากนโยบายของมาเลเซียที่เปิดกว้างและพร้อมที่จะรับการลงทุน โดยประเทศมาเลเซียเป็นประเทศที่ส่งออกสารกึ่งตัวนำมากอันดับหนึ่งของโลก แต่ไม่ได้หมายความว่าผลิตได้มาก เพียงแต่ประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ส่งสินค้ามาให้มาเลเซียประกอบและมาเลเซียส่งออกกลับคือประเทศแม่ หรือจะพูดได้ว่าประเทศมาเลเซียเป็นประเทศที่ประกอบวงจรรวมมากที่สุด นอกจากนี้ประเทศญี่ปุ่นยังได้ไปลงทุนในประเทศคู่แข่ง ทั้งในสหรัฐ และกลุ่มประเทศยุโรปด้วย ดังตารางที่ 3.16 เป็นที่น่าสังเกตุว่าการลงทุนนอกประเทศของญี่ปุ่น ในประเทศคู่แข่งนั้นเป็นการผลิตในสินค้าชั้นสูงขึ้นและซับซ้อนไปมากกว่า ที่ผลิตในกลุ่มประเทศเอเชีย โดยจะเป็นการผลิตครบวงจรด้วยในบาง

ตารางที่ 3.15 ฐานการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นในเอเชีย

| ประเทศ | บริษัทแม่ | ชื่อบริษัทในต่างประเทศ | สินค้าหลัก |
|---|---|---|---|
| มาเลเซีย | Hitachi | Hitachi Semiconductor(Malaysia)Sdn.Bhd | bipolar IC,MOS Memory |
| | Toshiba | Toshiba Electronics Malaysia Sdn Bhd | bipolar IC,MOS Menory |
| | NEC | NEC Malaysia SDN.Beriiad | Transistor, linear IC |
| สิงคโปร์ | Matsushita | Matsushita Electronic Components(S'pore) | Transistor |
| | NEC | NEC S'pore Pte.Ltd. | linear IC |
| | Fujitsu | Fujitsu Microelectronics Asia Pte.Ltd. | bipolar,MOS memory |
| ไต้หวัน | Sanyo | Sanyo Electronic(Taichung) Co.,Ltd. | Transistor & bipolar |
| | Hitachi | Kaohsiung Hitachi Electronics Co.,Ltd. | Transistor |
| เกาหลี | Sanyo | Korea Tokyo Silicon Co.,Ltd. | Transistor |
| จีน | Sanyo | Sanyo Semiconductor (Shekou) Ltd. | Transistor |
| ไทย | Sony | Sony Semiconductor(thailand) | |

ที่มา : Electronic Business Asia (October 1991)

ตารางที่ 3.16 ฐานการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นในสหรัฐและยุโรป

| ประเทศ | บริษัทแม่ | ชื่อบริษัทในต่างประเทศ | สินค้าหลัก |
|---|---|---|---|
| ประเทศสหรัฐ | Hitachi | Hitachi Semiconductor(America)Inc. | MOS memory & microprocessor |
| | Fujitsu | Fujitsu Microelectronics Inc. | MOS memory,ASIC |
| | Mitsubishi | Mitsubishi Semiconductor America | DRAM,ASIC |
| | Toshiba | Toshiba Semiconductor(USA) Inc. | Memory |
| | NEC | NEC Electronics Inc. | Memory,Logic |
| | Sharp | RCA/Sharp | LSI |
| เยอรมัน | Hitachi | Hitachi Semiconductor(Europe) G.m.b.H. | MOS memory & microprocesso |
| | Toshiba | Toshiba Semiconductor G.m.b.H. | Memory |
| ไอร์แลนด์ | Fujitsu | Fujitsu Microelectronics Ireland Ltd. | Mos memory |
| | NEC | NEC Ireland Ltd. | MOS memory & microprocesso |
| อังกฤษ | NEC | NEC Semiconductor (UK) Ltd.(scotland) | MOS memory & microprocesso |

ที่มา : Electronic Business Asia (October 1991)

ประเทศ สาเหตุที่มีความแตกต่างกัน น่าจะมาจากวัตถุประสงค์ที่ต่างกันในการลงทุน คือการที่ประเทศญี่ปุ่นไปลงทุนในกลุ่มประเทศเอเชียมุ่งหาประโยชน์จากแรงงานราคาถูก ซึ่งก็ต้องเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงงานมาก ก็ได้แก่การประกอบและการทดสอบ ส่วนวัตถุประสงค์ของการไปลงทุนในประเทศคู่แข่งนั้น มีหลายสาเหตุคือ การที่ต้องการลดแรงกดดันจากการตั้งกำแพงภาษีสินค้าที่สูง เช่นการเข้าไปลงทุนในกลุ่มประเทศยุโรป และมีแนวโน้มที่จะมีบริษัทต่างๆทั้งของประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐเข้าไปตั้งโรงงานในกลุ่มประเทศยุโรปเพิ่มขึ้น เนื่องจากการรวมยุโรปเป็นตลาดเดียว (single market) ในปี 1992 จะมีผลด้านภาระภาษีมากขึ้น หรือการที่ประเทศญี่ปุ่นต้องการลดแรงกดดันทางการค้ากับสหรัฐในเรื่องมูลค่าการค้าสารกึ่งตัวนำระหว่างประเทศญี่ปุ่นกับสหรัฐ ดังนั้นการที่ไปตั้งโรงงานในสหรัฐและผลิตส่งกลับมาใช้ในประเทศญี่ปุ่นทำให้มูลค่าการได้เปรียบการค้าลดลง และยังเป็น supply สารกึ่งตัวนำให้กับบริษัทผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ของตนในประเทศสหรัฐ อีกทั้งยังเป็นการไปร่วมลงทุนกับบริษัทต่างประเทศเพื่อแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีกัน

3.4.4 การลงทุนทางตรงจากต่างประเทศ (foreign direct investment)

การที่ประเทศต่างๆมีนโยบายกีดกันการค้า ทั้งในรูปการกีดกันทางภาษี (tariff barrier) และการกีดกันที่ไม่ใช้ภาษี (non-tariff barrier) เช่นการกำหนดโควต้า ทำให้ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำประเทศต่างก็พยายามหาทางออกโดยการไปลงทุนในประเทศนั้นๆ (foreign direct investment - FDI) เพื่อเลี่ยงข้อกีดขวางทางการค้าต่างๆ การลงทุนทางตรงต่างประเทศของสหรัฐ เกี่ยวข้องกับการลงทุนทั้งเต็มรูปแบบคือ ทั้งการเจือสาร (wafer fabrication) การประกอบและการทดสอบ ซึ่งจะขายในตลาดประเทศหรือภูมิภาคนั้น หรือส่งกลับประเทศสหรัฐหรือไปประเทศที่สาม และการลงทุนเฉพาะการประกอบ (offshore assembly) โดยการลงทุนของสหรัฐและญี่ปุ่นโดยมากจะไปลงทุนในยุโรปมาก เนื่องมาจากปัจจัย 3 ประการคือ

1. เพื่อหลีกเลี่ยงภาษีศุลกากรนำเข้าของกลุ่มประเทศยุโรป ที่มีอัตราสูงถึง 17% รวมทั้งมีข้อกีดขวางทางการค้าที่ไม่ใช้ภาษี (non-tariff barrier)
2. ทำให้ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำสามารถได้ใกล้ชิดกับลูกค้าได้มากขึ้น

3. ทำให้เพิ่มโอกาสในการทำสัญญากับรัฐบาลประเทศต่างๆในกลุ่มประเทศยุโรป ซึ่งมักจะมีนโยบายการกีดกันในการจัดซื้อของภาครัฐบาล ถ้าสารกึ่งตัวนำไม่ได้ผลิตในกลุ่มประเทศยุโรป

ส่วนการลงทุนของสหรัฐในญี่ปุ่นนั้นสหรัฐมีระดับที่ต่ำกว่าการลงทุนในกลุ่มประเทศยุโรป เนื่องจากนโยบายของญี่ปุ่นในการรับเงินลงทุนจากต่างประเทศ รัฐบาลจะอนุญาตเฉพาะบริษัทต่างประเทศที่มาลงทุนโดยมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้ด้วย แต่ Texas Instruments เป็นบริษัทเดียวที่สามารถท้าทายนโยบายนี้ของญี่ปุ่นได้ เนื่องจาก TI ถือสิทธิที่สำคัญในสิทธิบัตรวงจรรวม ทำให้สามารถไปลงทุนในญี่ปุ่นได้ ส่วนญี่ปุ่นที่ไปลงทุนในสหรัฐส่วนมากไปลงทุนใน memory IC โดยเฉพาะ DRAM เนื่องมาจากต้องการการเรียนรู้ในการพัฒนาซอฟท์แวร์ การออกแบบวงจร และความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับลูกค้านอกญี่ปุ่น แต่เหตุผลหลักอีกข้อหนึ่งคือ การกีดกันการนำเข้าของสหรัฐทำให้ญี่ปุ่นต้องไปสร้างฐานการผลิตที่นั่น ส่วนเกาหลีใต้นั้นโดยมากจะไปลงทุนในสหรัฐ เพื่อต้องการเรียนรู้เทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมของสหรัฐได้อย่างรวดเร็ว โดยส่งวิศวกรและนักเทคนิกไปฝึกงานที่สหรัฐ และจะกลับไปทำงานที่เกาหลีต่อ

### 3.4.5 การแลกเปลี่ยนเทคโนโลยี

ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำมีการแข่งขันกันรุนแรงทั้งในด้านเทคนิคการผลิต การตลาด การกีดกันการนำเข้า แต่ก็ยังมีการร่วมมือกันในหลายรูปแบบทั้งการร่วมมือกันระหว่างบริษัทในเครือ หรือการร่วมมือกันกับคู่แข่งในรูป การแลกเปลี่ยนเทคโนโลยี ซึ่งจะแบ่งเป็นการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีในชนิดสินค้าต่างๆดังนี้

**Microprocessor** ในส่วนของไมโครโพรเซสเซอร์นี้สหรัฐเป็นผู้นำในตลาด แต่ญี่ปุ่นก็เป็นประเทศที่ชำนาญในส่วนของเทคโนโลยี CMOS และ CMOS นั้นเป็นเทคโนโลยีที่ได้เปรียบในการผลิตสารกึ่งตัวนำ ทำให้การแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีระหว่างสหรัฐ และญี่ปุ่นเป็นไปได้ด้วยดี เนื่องจากต่างฝ่ายก็มีข้อเด่นอยู่ โดยตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีได้แก่

- Intel - Oki ภายใต้สัญญา Oki จะผลิต ไมโครโพรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ของ Intel ด้วยเทคโนโลยี CMOS

- Intel - Fujitsu ทั้งสองบริษัทจะร่วมกันในการผลิตไมโครโพรเซสเซอร์ โดย Fujitsu ยังเป็นแหล่งซัพพลายที่สองของ Intel

**Memories** เช่น SRAM DRAM ROM เป็นต้น เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในข้อตกลงทางเทคโนโลยี โดยประเทศเกาหลีได้แสดงความสนใจมากในส่วนของ memories แต่แทนที่บริษัทในเกาหลีจะไปร่วมกับบริษัทญี่ปุ่นที่เป็นผู้นำในส่วนนี้อยู่ กลับไปสนใจที่จะร่วมกับบริษัทสหรัฐ ส่วนบริษัทสหรัฐก็ให้ความสนใจที่จะไปร่วมลงทุนกับญี่ปุ่น ทำให้ความสัมพันธ์ในการลงทุนแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ใน memories ส่วนกลุ่มประเทศยุโรปนั้นก็ได้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศในยุโรปด้วยกันเอง เรียกว่าโครงการ Mega Project โดยบริษัท Philips กับ Siemens ร่วมกันลงทุนในแผน 5 ปี (1984 - 1989) เป็นจำนวนเงิน 900 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งมุ่งในการพัฒนา 1 megabit และ 4 megabit DRAM เพื่อให้ทั้ง 2 บริษัทมาอยู่ในแนวหน้าของเทคโนโลยี CMOS โดยเงินลงทุนมาจาก บริษัท Siemens 30 % และ Philips 30 % ส่วนที่เหลือออกโดยรัฐบาลเยอรมัน และเนเธอร์แลนด์ ลักษณะที่สำคัญของ memories คือกระบวนการผลิต memories ถือเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีสูง ซึ่งเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้และผลิตผลิตสารกึ่งตัวนำอื่นๆ

**Non-standard IC (Customized IC)** ซึ่งรวมถึง gate arrays, linear arrays, standard cells และ full-custom chips การตลาดในส่วนนี้ได้เพิ่มความสำคัญขึ้นมามาก โดยเฉพาะผู้ผลิตอเมริกัน และผู้ผลิตญี่ปุ่นที่มีการรวมกลุ่ม ซึ่งผลิตเพื่อป้อนสินค้าตนเอง และยังเป็นที่สนใจแก่ผู้ผลิตเพื่อขายแก่ตลาดทั่วไป (merchant firms) ที่สามารถมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับลูกค้าได้

### 3.4.6 นโยบายการแข่งขัน (Competitive Strategies)

การแข่งขันในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำที่เห็นได้ชัดคือ การแข่งขันระหว่างสหรัฐและญี่ปุ่น โดยนโยบายที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดของญี่ปุ่น และสหรัฐ โดยสามารถแยกนโยบายที่แตกต่างระหว่างสองประเทศกว้างๆดังนี้คือ

1. สินค้าที่มีความแตกต่าง (differentiated-product)

บริษัทสารกึ่งตัวนำของสหรัฐ โดยทั่วไปจะเน้นผลิตสินค้าที่มีความแตกต่างจากคู่แข่งโดยการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงการออกแบบวงจร แต่กระบวนการผลิตเริ่มอยู่ตัว จึงยากที่จะทำให้สินค้ามีความแตกต่างจากคู่แข่ง ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องพยายามเข้าสู่ยุคใหม่ของวงจรรวม (next generation) นอกจากนี้ผู้ผลิตสหรัฐยังมุ่งพัฒนาวงจรรวมให้ทำงานเฉพาะกับสินค้า (application specific IC) โดยตรงข้ามบริษัทญี่ปุ่นไม่เน้นในสินค้าให้มีความแตกต่างจากคู่แข่ง แต่จะเน้นในการผลิตจำนวนมากเช่น memory chip เพื่อให้เกิดการประหยัดต่อขนาด ซึ่งจะทำให้สามารถตั้งราคาแข่งขันได้ดี

2. การตัดสินใจออกจากการแข่งขัน (withdrawal dicisions)

บริษัทสหรัฐมีแนวโน้มที่จะถอนตัวออกจากการแข่งขันเร็วกว่า ในกรณีที่ไม่สามารถได้รับประโยชน์เพียงพอ ตัวอย่างได้แก่การถอนตัวออกจาก DRAM ของสหรัฐเนื่องจากมีการแข่งขันสูงมาก ทำให้มีการตัดราคา ส่วนบริษัทญี่ปุ่นแทบจะไม่มีการถอนตัวออกจากการแข่งขันเลย แม้ว่าจะขาดทุนในระยะหนึ่งก็ตาม บริษัทจะพยายามทำให้กำไรให้ได้แม้ว่าจะใช้เวลานานก็ตาม ถ้าบริษัทเห็นว่าสินค้านั้นสำคัญ โดยถ้าสินค้านั้นสนับสนุนกระบวนการรวมตัวในแนวตั้ง

3. ความสำคัญของการรวมตัวในแนวตั้ง (vertical integration)

ผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นส่วนมากจะเป็นส่วนหนึ่งของบริษัทผู้ผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ขนาดใหญ่ บริษัทผลิตสินค้าอิเล็กโทรนิกส์เหล่านี้เข้ามาในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำเนื่องจากต้องการควบคุมคุณภาพ และเพื่อความมั่นใจในการได้มาซึ่งส่วนประกอบที่จะนำมาใช้กับสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ของตน แม้ว่าส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำนั้นจะสามารถหาได้ในตลาดทั่วไป ในราคาที่พอๆ

กับต้นทุนที่ผลิตเองก็ตาม ซึ่งการรวมตัวกันในแนวตั้งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในบริษัทญี่ปุ่น ส่วนบริษัทสหรัฐจะเป็นบริษัทอิสระ การขายโดยมากเป็นการขายแก่ตลาดทั่วไป

### 3.4.7 นโยบายสนับสนุนของรัฐบาล (government policies)

รัฐบาลของหลายประเทศให้ความสำคัญและมองอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่เติบโตเร็ว และเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆ การที่ต้องการจะให้ประเทศเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมนี้ ลำพังเอกชนอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ โดยนโยบายของรัฐบาลก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการช่วยส่งเสริมการแข่งขันในอุตสาหกรรมนี้ โดยจะช่วยเสริมงานวิจัยของเอกชน ทั้งในด้านเงินทุนและเทคโนโลยี และส่งเสริมให้มีการรวมกลุ่มของผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะรัฐบาลของประเทศญี่ปุ่นมีนโยบายช่วยเหลือมากทั้งในจำนวนเงินและการเจรจาต่อรองกับประเทศคู่ค้า เนื่องจากงานวิจัยในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนั้นต้องใช้เงินจำนวนสูงมาก การที่จะปล่อยให้บริษัทเอกชนของประเทศตน ต่างคนต่างทำงานวิจัยแข่งกันเองก็จะทำให้เป็นการวิจัยซ้ำซ้อน ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง การจะแข่งขันกับประเทศคู่แข่งก็ทำได้ยาก เพื่อที่จะได้ผลการวิจัยพื้นฐานเช่นเทคโนโลยีการผลิต ก็จะมีการแบ่งความรู้กันในสมาชิกของโครงการ ลดความซ้ำซ้อนของการแข่งการวิจัยลงไปได้มาก

ประเทศผู้นำในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ต่างก็มีโครงการของภาครัฐ และสถาบันต่างๆ ในการช่วยส่งเสริมภาคเอกชนของตนให้เข้มแข็งขึ้น เช่นประเทศสหรัฐก็มีโครงการ SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology) โดยเป็นการรวมกลุ่มระหว่างผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของสหรัฐ 14 บริษัท โดยมีรัฐบาลสหรัฐสนับสนุน เป็นโครงการระยะเวลา 5 ปี มีเป้าหมายคือต้องการเป็นผู้นำเทคโนโลยีในการผลิตในปี 1993 โดยมุ่งไปที่การผลิต 64 MbitDRAM โดยมีกรอบของเวลาว่าในปี 1993 บริษัทสหรัฐจะนำหน้าคู่แข่งต่างประเทศ 1 ปี และระหว่างการวิจัยก็จะมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่บริษัทสมาชิก อีกทั้งยังมี SRC (Semiconductor Research Corporation) ที่เป็นการร่วมระหว่างรัฐบาลและกลุ่มอุตสาหกรรม มีจุดประสงค์เพื่อสนับสนุนทางการเงินแก่มหาวิทยาลัย และห้องทดลอง ในการวิจัยด้านสารกึ่งตัวนำ โครงการนี้คาดว่าจะเป็นการเสริมสร้างเทคนิคใหม่ๆ และเผยแพร่ความรู้นี้แก่อุตสา

หกรรมของประเทศ ประเทศญี่ปุ่นก็มี กระทรวงอุตสาหกรรมและการค้าระหว่างประเทศ (Ministry of International Trade and Industry - MITI) คอยช่วยเหลือในด้านการต่อรองและการค้าระหว่างประเทศ รวมทั้งให้เงินอุดหนุนในการวิจัย ร่วมกับ EIAJ (Electronics Industry Association of Japan) และมีโครงการต่างๆจำนวนมากเช่น โครงการ VLSI ในช่วงปี 1975-1979 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาการผลิตวงจรรวมในระดับ VLSI โดยรัฐบาลช่วยเป็นจำนวนเงินถึง 112 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยมีบริษัทเอกชนเข้าร่วมด้วยคือ NEC, Hitachi, Fujitsu, Toshiba, Mitsubishi โครงการ Opto-Electronics ในช่วงปี 1979-1986 ที่มีเป้าหมายใน Optical Semiconductor ที่รัฐบาลช่วยเหลือเป็นเงิน 80 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือโครงการ Optoelectronic Devices ในช่วงปี 1986-1996 ที่เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการก่อน ก็ให้งบเพิ่ม 42 ล้านเหรียญสหรัฐ เป็นต้นหรือในกลุ่มประเทศยุโรปมีโครงการ European Stategic Program for R&D in Information Technology (ESPRIT) และ Joint European Submicron Semiconductor Industry (JESSI) และประเทศเกาหลีใต้ก็มีการสนับสนุนโดยหน่วยงานรัฐบาล ผ่านหน่วยงาน Ministry of Trade & Industry (MTI) และ Korea Institute of Electronics Technology (KIET) โดยประกาศแผน "Semiconductor Industry Promotion Plan" ในปี 1982 เพื่อสนับสนุนการพัฒนาความสามารถในการผลิตสารกึ่งตัวนำ โดยมีบริษัทขนาดใหญ่หรือที่เรียกว่า "chaebol" เข้าร่วมด้วย ได้แก่ Sumsung , Lucky-Goldstar, Hyundai รวมทั้งมีการสนับสนันทางการเงินผ่าน Korean Development Bank (KDB) เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเทศก็มีนโยบาย ทั้งในด้านภาษี การจัดซื้อ การค้า การสนับสนุนการวิจัย การป้องกันการผูกขาดทางการค้า ที่แตกต่างกันไป

### 3.4.8 อุตสาหกรรมต้นน้ำของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (upstream industry)

การที่จะเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ส่วนที่สำคัญปัจจัยหนึ่งคืออุตสาหกรรมต้นน้ำ โดยบริษัทญี่ปุ่นไม่เพียงแต่จะเป็นคู่แข่งที่สำคัญกับบริษัทสหรัฐในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำเท่านั้น แต่ในอุตสาหกรรมต้นน้ำ อันได้แก่เครื่องจักรและวัตถุดิบในการผลิตสารกึ่งตัวนำ ทั้งสองประเทศต่างก็เป็นคู่แข่งที่สำคัญเช่นกัน และประเทศญี่ปุ่นก็เริ่มนำหน้าประเทศสหรัฐในส่วนใหญ่

แล้ว ดังตารางที่ 3.17 แสดงยอดขายอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำ แยกตามขั้นตอนการผลิต ในปี 1989 จะพบว่าในขั้นตอนการผลิต 14 ขั้นตอน บริษัทญี่ปุ่นเป็นผู้นำในอุปกรณ์การผลิตถึง 8 ขั้นตอน หรือจากตารางที่ 3.18 แสดงบริษัท 10 อันดับแรกในอุตสาหกรรมอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำในปี 1990 โดยมีบริษัทญี่ปุ่นถึง 5 บริษัท โดยในตำแหน่งที่หนึ่งก็เป็นของญี่ปุ่น จากมูลค่ารวม 10 อันดับแรกเท่ากับ 4111 ล้านเหรียญสหรัฐ เป็นของบริษัทญี่ปุ่นถึง 2546 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 62 % และจากยอดขายรวมของ 10 บริษัทมีสัดส่วนต่อยอดขายอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำทั้งหมดเท่ากับ 45 % แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของ 10 อันดับแรกที่มีสัดส่วนมากเกือบครึ่งของอุตสาหกรรมนี้ และตารางที่ 3.19 แสดงให้เห็นว่าประเทศญี่ปุ่นมียอดขายเครื่องมือการผลิตสารกึ่งตัวนำสูงขึ้นเรื่อยๆ จนในปี 1990 ยอดขายพอๆกับของสหรัฐ และโดยเฉพาะส่วนที่สำคัญที่สุดในการผลิตคือการเจือสาร (fabrication) ลงในแผ่น wafer โดยเครื่องมือในส่วนนี้คือ stepper ซึ่งแต่เดิมบริษัทสหรัฐ CGA เป็นผู้นำใน stepper ครองตลาดส่วนใหญ่ จนกระทั่งปี 1983 บริษัท Nikon และ Canon ของญี่ปุ่นก็ได้นำหน้าไป โดยจากตารางที่ 3.20 แสดงสัดส่วนการตลาดของผู้ผลิต stepper ของประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐ เห็นว่าสัดส่วนผู้ผลิต stepper ของสหรัฐลดลงมาเรื่อยๆ จากปี 1983 จนหลังปี 1986 ญี่ปุ่นก็นำหน้าผู้ผลิตสหรัฐ และแนวโน้มสัดส่วนของผู้ผลิตสหรัฐก็ลดลงเรื่อยๆ ขณะที่สัดส่วนของญี่ปุ่นก็เพิ่มขึ้นสูงอย่างต่อเนื่อง สูงถึง 73 % ในปี 1990 และสูงมากกว่า 90 % ในปี 1991 และตารางที่ 3.21 แสดงให้เห็นถึงบริษัทในเครือ keiretsu ของบริษัทอิเล็กโทรนิกส์ใหญ่ๆของญี่ปุ่น ได้แก่ NEC, Fujitsu, Toshiba, Mitsubishi, Matsushita, Hitachi ที่มี upstream industry ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำครบถ้วนเกือบทุกขั้นตอน

จากการที่อุตสาหกรรมต้นน้ำของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำถูกครอบครองโดยญี่ปุ่นเพิ่มมากขึ้น ก็ทำให้สัดส่วนทั้งเครื่องมือในการผลิตสารกึ่งตัวนำ และสินค้าสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ทำให้ผู้ผลิตเครื่องมือการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่นสามารถมีทุนที่จะทำ R&D ได้มากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของสหรัฐเริ่มประสบปัญหามากขึ้น เนื่องจากความก้าวหน้าในเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำนั้นใกล้ชิดกับเครื่องจักรและวัตถุดิบในการผลิตมาก การที่ศักยภาพของสหรัฐในด้านนี้ลดลง ทำให้ความสามารถในการแข่งขันของสหรัฐในสารกึ่งตัวนำลดลง เพราะการผลิตของสหรัฐส่วนหนึ่ง อาจจะต้องไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิตเครื่องมือการผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่น

ตารางที่ 3.17

ยอดขายอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำแยกตามขั้นตอนการผลิต หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ (%)

| ขั้นตอนการผลิต | ยอดขายรวม | บริษัทอันดับแรกและส่วนแบ่ง (%) | บริษัทอันดับสองและส่วนแบ่ง (%) |
|---|---|---|---|
| Deposition | 1393.6 | applied material(15) | Varian(10) |
| Resist processing | 452.5 | TEL(25) | Dainippon(20) |
| Steppers | 1209.2 | Nikon(45) | Canon(20) |
| Diffusion furnaces | 355.4 | TEL(40) | Kokusai(1)5 |
| Ion implant | 564.3 | Varian(30) | Eaton(20) |
| Dry etch | 888.1 | applied material(30) | TEL(10) |
| Automatic test | 1502.5 | Advantest(20) | Teradyne(10) |
| Packaging | 419.5 | Yamada(15) | Towa electric(15) |
| Wire bonder | 205.6 | Shinkawa(30) | Kulicke soffa(20) |
| CIM software | 76.4 | Consilium(20) | Advantest(20) |
| Process diagnostics | 712.0 | KLA(20) | Hitachi(5) |
| Wafer cleaning | 194.9 | Dainippon screen(25) | FSI(20) |
| Die bonders | 92.5 | Shinkawa(25) | ESEC SA(20) |
| Dicing saws | 83.7 | Disco abrasive(60) | Kulicke&Soffa(10) |

ที่มา: Electronics (January 1992)

ตารางที่ 3.18 บริษัทอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำ 10 อันดับแรก หน่วย:ล้านเหรียญสหรัฐ

| อันดับใน ปี 1988 | อันดับใน ปี 1989 | อันดับใน ปี 1990 | บริษัท | ยอดขาย ปี 1990 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1 | Tokyo Electron | 706 |
| 1 | 2 | 2 | Nikon | 692 |
| 4 | 3 | 3 | Applied Materials | 572 |
| 3 | 4 | 4 | Advantest | 423 |
| 6 | 5 | 5 | Canon | 421 |
| 11 | 8 | 6 | Hitachi | 304 |
| 5 | 6 | 7 | General Signal | 286 |
| 7 | 7 | 8 | Varian | 285 |
| 9 | 9 | 9 | Teradyne | 218 |
| - | - | 10 | Silicon Valley | 204 |
| | | | รวม 10 อันดับแรก | 4111 |

ที่มา: VLSI Research Inc. (1991)

ตารางที่ 3.19 ยอดขายอุปกรณ์การผลิตสารกึ่งตัวนำของสหรัฐและญี่ปุ่น

หน่วย:พันล้านเหรียญสหรัฐ

| ปี | ประเทศสหรัฐ | ประเทศญี่ปุ่น |
|---|---|---|
| 1984 | 3.8 | 1.6 |
| 1985 | 3.7 | 1.5 |
| 1986 | 3.1 | 1.7 |
| 1987 | 3.0 | 1.9 |
| 1988 | 4.1 | 3.2 |
| 1989 | 4.5 | 4.1 |
| 1990 | 4.4 | 4.0 |

ที่มา: VLSI Research Inc. (1991)

ตารางที่ 3.20 สัดส่วนการตลาดของเครื่อง Wafer Stepper ของประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐ

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

| ปี | ประเทศญี่ปุ่น | ประเทศสหรัฐ |
|---|---|---|
| 1983 | 37 | 63 |
| 1984 | 41 | 59 |
| 1985 | 45 | 55 |
| 1986 | 49 | 51 |
| 1987 | 58 | 42 |
| 1988 | 64 | 32 |
| 1989 | 70 | 25 |
| 1990 | 73 | 20 |

ที่มา: VLSI Research Inc. (1991)

ตารางที่ 3.21 บริษัทในอุตสาหกรรมต้นน้ำของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่น

| ขั้นตอนการผลิต | Hitachi | Fujitsu | NEC | Toshiba | Mitsubishi | Matsushita |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lithography | Hitachi | — | — | Toshiba | Nikon | JOEL |
| Diffusion | Kokusai | — | — | — | JOEL | ULVAC |
| Ion Implant | Kokusai | — | — | — | — | ULVAC |
| Deposition | Kokusai | — | Anelva | Tokuda | JOEL | ULVAC |
| Etch | Kokusai | — | Anelva | Tokuda | — | — |
| Test | — | Takeda -Riken | Ando Electric | — | Nippon Kogaku | — |
| Assembly | Shinkawa | — | Kaijo Denki | Toshiba Seiki | — | — |

ที่มา:U.S.Department of Commerce (1990)

เช่น ในปี 1989 Nikon ผู้นำในการผลิต stepper ได้ออกเครื่องรุ่นใหม่ล่าสุด และดีที่สุดคือ G-body ซึ่งใช้กันแพร่หลายในผู้ผลิตสารกึ่งตัวนำของญี่ปุ่น แต่เครื่องรุ่นนี้กลับยังไม่มีขายในประเทศสหรัฐ

3.4.9 อุตสาหกรรมปลายน้ำของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (downstream industry)

ปัจจัยอีกอันหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อความสำเร็จของบริษัทในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้คือ อุตสาหกรรมปลายน้ำของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ซึ่งได้แก่สินค้าอิเล็กโทรนิกส์ต่างๆ เช่นคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์โทรคมนาคม ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งก็ถือเป็นส่วนหนึ่งของการรวมกลุ่มในแนวตั้ง เพราะลำพังอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนั้น เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนสูงมาก อีกทั้งราคาก็มีแนวโน้มราคาลดลงตลอดอายุ การที่จะพึ่งกับตลาดภายนอกแต่เพียงอย่างเดียวจะมีความเสี่ยงสูง เนื่องจากราคาผันผวนมาก และอุปสงค์มีไม่แน่นอน จากเหตุผลดังกล่าวการที่อุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ จะมีอุตสาหกรรมปลายน้ำของตนเอง ก็เป็นการลดความเสี่ยงในการผลิต จะได้ผลิตเพื่อป้อนสินค้าตนเองส่วนหนึ่ง ซึ่งทำให้ผลิตได้ตรงกับความต้องการและจะไม่มีการขาดแคลนส่วนประกอบ รวมทั้งทำให้ต้นทุนสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ต่ำลง และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันสินค้าอิเล็กโทรนิกส์กับบริษัทคู่แข่ง รวมทั้งเวลาที่มีความแปรปรวนในราคาสารกึ่งตัวนำ ก็สามารถใช้สินค้าอิเล็กโทรนิกส์ของบริษัทในเครือมาช่วยอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมปลายน้ำนั้น อันได้แก่สินค้าอิเล็กโทรนิกส์ และคอมพิวเตอร์นั้นญี่ปุ่นก็ได้ครองตลาดเป็นส่วนใหญ่ การที่ประเทศญี่ปุ่นได้เปรียบในสินค้าปลายน้ำนี้ อาจเป็นผลมาจากการที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ และอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนี้ก็เป็นส่วนหนึ่งของบริษัทอิเล็กโทรนิกส์ของญี่ปุ่น ทำให้สามารถออกแบบวงจรรวมได้เหมาะสมกับสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ที่จะนำสู่ตลาด ทำให้มีศักยภาพสูงในการแข่งขันกับคู่แข่ง เมื่อเทียบกับสหรัฐซึ่งอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำตกต่ำลงมาก ทำให้สินค้าอิเล็กโทรนิกส์ ต้องใช้ชิ้นส่วนบางอย่างจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งประเทศญี่ปุ่นมักจะไม่ส่งชิ้นส่วนรุ่นล่าสุดหรือรุ่นที่มีประสิทธิภาพสูงออกนอกตลาดในระยะแรก จนกระทั่งผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นนำไปใช้ในสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ได้เป็นที่พอใจ หรือครองตลาดได้พอสมควรถึงจะส่งออก ซึ่งลักษณะเช่นนี้ก็จะเป็นปัญหาต่อสหรัฐในการแข่งขันสินค้าอิเล็กโทรนิกส์กับญี่ปุ่น เพราะคุณสมบัติจะด้อยกว่าสินค้าของประเทศญี่ปุ่นอยู่ตลอดเวลา

### 3.4.10 การรวมกลุ่มในแนวตั้ง (Vertical Integration)

การแข่งขันในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำนั้น ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือการรวมกลุ่มในแนวตั้ง เนื่องมาจากอุตสาหกรรมนี้ต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมากในการตั้งโรงงาน รวมทั้งอุปกรณ์ในการผลิต ซึ่งมีความละเอียดอ่อนมาก ก็เป็นจำนวนเงินที่สูงมาก โดยเฉพาะในส่วนการเจือสาร (fabrication) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด และต้นทุนส่วนนี้ก็เป็นต้นทุนส่วนใหญ่ของการผลิตสารกึ่งตัวนำ ได้เพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลาจาก 15% ของต้นทุนทั้งหมดในช่วงกลางทศวรรษ 1970 เป็น 50% ของต้นทุนทั้งหมดในกลางทศวรรษ 1980 และจะสูงถึง 60% ในช่วงต้น 1990 โดยเป็นจำนวนเงินจาก 30 ล้านเหรียญสหรัฐ จนสูงถึง 700 ล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 1992 ดังนั้นการที่บริษัทจะตั้งขึ้นมาเพื่อผลิตวงจรรวมขายภายนอกอย่างเดียวถือเป็นการเสี่ยงอย่างมาก เพราะนอกจากต้นทุนในการผลิตจะสูงมากแล้ว ราคาของวงจรรวมมีแนวโน้มราคาลดลงตลอดอายุของสินค้า อีกทั้งอายุของวงจรรวมนับวันก็จะสั้นเข้าทุกที มีการออกรุ่นใหม่ๆขึ้นมาแทนในระยะเวลาสั้นขึ้น นั่นก็หมายถึงต้องมีการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา รวมทั้งเปลี่ยนเครื่องมือในการผลิตอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งต้องมีการผลิตจำนวนมาก (mass production) เพื่อให้ราคาต่อหน่วยลดลงเนื่องจากต้นทุนคงที่ อันได้แก่ต้นทุนในการวิจัยและพัฒนานั้นสูงมาก ทำให้บริษัทขนาดเล็กในอุตสาหกรรมนี้แทบจะไม่มี เนื่องจากข้อจำกัดข้างต้น สำหรับบริษัทขนาดใหญ่ก็ใช่ว่าจะสามารถดำเนินกิจกรรมโดยไม่มีปัญหา เนื่องจากการลงทุนที่ต้องมีการลงทุนใหม่ตลอดเวลา ดังนั้นการรวมกลุ่มในแนวตั้งเพื่อผลิตวงจรรวมไว้ใช้ในสินค้าของตนและที่เหลือจึงขายออกสู่ตลาดภายนอก จึงเป็นทางออกที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมนี้ โดยประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศที่มีการรวมกลุ่มเช่นนี้อยู่แล้ว หรือที่เรียกว่า keiretsu อีกทั้งยังมีความได้เปรียบกลุ่มประเทศอื่นคือ มีธนาคารหรือสถาบันการเงินในเครืออยู่ด้วย ซึ่งสามารถให้ความช่วยเหลือในการเงินได้เป็นอย่างดี ส่วนของสหรัฐก็มีการรวมกลุ่มอยู่บ้างเช่นกัน แต่มีจำนวนไม่มากนัก และการรวมกลุ่มก็ไม่ได้มีเครือมากนัก เนื่องจากข้อจำกัดของกฎหมาย antitrust ของสหรัฐเองที่ห้ามการผูกขาด ส่วนกลุ่มประเทศยุโรปก็มีการรวมกลุ่มคล้ายกับญี่ปุ่น โดยผลิตวงจรรวมเพื่อใช้ในสินค้าอิเล็กโทรนิกส์ของตนเองแต่ขนาดไม่ใหญ่มากนัก รวมทั้งเกาหลีใต้ก็มีการรวมกลุ่มเช่นเดียวกัน หรือที่เรียกกันว่า chaebol

ดูเหมือนว่ามันไม่ได้เป็นการรับประกันว่า ถ้าบริษัทมีขนาดใหญ่และมีการรวมกลุ่มในแนวตั้งสูง จะประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ แต่เงื่อนไขนี้ก็เป็นเงื่อนไขที่จำเป็นแต่ไม่ใช่เงื่อนไขที่พอเพียงให้ประสบความสำเร็จ เพราะไม่เช่นนั้นบริษัทสหรัฐทำไมถึงไม่วางนโยบายไปในทิศทางนี้