บทที่ 3

เทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบวงจรรวม

วงจรรวม (Integrated Circuit) หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปในชื่อว่า ไอซี (I.C.) หรือ ชิป (Chip) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมเอาทรานซิสเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เช่น ตัวความต้านทานตัวเก็บประจุจำนวนมากมายมาไว้บนชิ้นของแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Material)* ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สารซิลิคอน (Silicon) แล้วก็ต่อเชื่อมโยงทางเดินไฟฟ้าเข้าด้วยกัน เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรรวมได้กลายเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องใช้เกือบทุกชนิดในชีวิตประจำวันของมนุษย์เรา อย่างเช่น เครื่องคิดเลข วิทยุ โทรทัศน์ ตู้เย็น โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ และเครื่องมือเครื่องใช้ทางอุตสาหกรรมมากมาย เป็นต้น เนื่องจากวงจรรวมมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีไปอย่างรวดเร็วมากควบคู่ไปกับอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ จึงส่งผลให้ชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปมากเช่นกัน จนกระทั่งบางคนถือว่าวงจรรวมเป็นสัญลักษณ์ของการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งใหม่ นำมนุษย์เราเข้าสู่ยุคสารสนเทศ (Information Age)

วิวัฒนาการของวงจรรวม

อุตสาหกรรมวงจรรวมมีวิวัฒนาการมาเป็นลำดับนับเป็นเวลาสามสิบกว่าปีมาแล้ว เริ่มจากการที่มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากอิเล็กตรอนในการดำรงชีวิตประจำวัน โดยการประดิษฐ์หลอดสูญญากาศ (Vacuum Tube) และต่อมาในปี 1948 ก็ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญตัว

---

* สารกึ่งตัวนำเป็นสารที่มีคุณสมบัติกึ่งนำไฟฟ้า กล่าวคือ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (conductor) หรือฉนวน (insulator) อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่สถานการณ์ สารกึ่งตัวนำ ได้แก่ silicon, germanium และ gallium arsenide และสาเหตุที่มีการใช้ silicon มาผลิตเป็นวงจรรวมก็เพราะราคาถูก สามารถหาได้ง่าย เป็นธาตุที่มีมากที่สุดเป็นที่สองของโลก รองจากออกซิเจน ถูกค้นพบว่ามีปริมาณมากในหินควอร์ตและในทรายธรรมดาที่อยู่ตามชายหาด

หนึ่งเรียกว่า ทรานซิสเตอร์ (Transistor) โดยบริษัท Bell Telephone Laboratories และ AT & T (American Telephone and Telegraph Company, เป็นเจ้าของบริษัท Bell) ซึ่งร่วมกันวิจัย * ถือได้ว่าเป็นการเริ่มต้นกำเนิดอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ เพราะทรานซิสเตอร์ผลิตจากสารที่มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำไฟฟ้า โดยมีคุณสมบัติที่ดีกว่าหลอดสูญญากาศที่มีขนาดใหญ่ มีความร้อนสูงขณะใช้งาน และต้องมีการซ่อมแซมบ่อยครั้ง แต่ในระยะเริ่มแรกของการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์นั้นเป็นการมุ่งผลิตเพื่อใช้ในการทหารและการสำรวจทางอวกาศของสหรัฐอเมริกา การวิจัยจึงได้รับการสนับสนุนทางด้านการเงินจากงบประมาณของทหารอย่างมากมาย แต่ก็ถือว่าเป็นความลับทางการทหารจึงไม่สามารถเปิดเผยและนำออกใช้ประโยชน์ทางการค้าได้ เริ่มมีการผลิตเป็นเชิงการค้าได้ในปี 1951 ซึ่งในระยะนั้นทรานซิสเตอร์ใช้ Germanium เป็นวัตถุดิบ ต่อมาในปี 1957 บริษัท Texas Instruments (TI) และบริษัท Fairchild Semiconductors ได้คิดค้นทำให้ทรานซิสเตอร์ถูกลดขนาดคงเหลือเพียงสารกึ่งตัวนำชิ้นเดียว สิ่งประดิษฐ์ใหม่นี้เรียกว่า วงจรรวม (Integrated Circuit , I.C.) หรือชิป (Chip) ซึ่งวงจรรวมนี้มีคุณสมบัติเหนือกว่าทรานซิสเตอร์มากทั้งในด้านความน่าเชื่อถือ อายุ การใช้งาน ความเร็ว ต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะทำให้มีความหนาแน่นของวงจรได้มาก คือบรรจุทรานซิสเตอร์ได้มาก ก็เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างมาก วงจรรวมตัวแรกนั้นเป็นชนิด Bipolar และได้ใช้ Silicon มาเป็นแผ่นรองรับ (Substrate) [1] ในช่วงต้นนั้นวงจรรวมสามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ได้ไม่กี่สิบตัว เรียกว่าวงจรรวมขนาดเล็ก (Small Scale Integration, SSI) ต่อมาในปี 1961 สามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ได้หลายร้อยตัว เรียกว่า วงจรรวมขนาดกลาง (Medium Scale Integration, MSI) และถัดมาในปี 1962 ก็ได้มีการใช้เทคโนโลยีแบบ MOS (Metal Oxide Semiconductor) มาใช้ในการผลิตวงจรรวม เทคโนโลยีแบบ MOS มีข้อดีที่สามารถสร้างวงจรที่มีความหนาแน่นได้สูงและต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าเทคโนโลยีแบบ Bipolar จึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และมีผลทำให้สามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ได้เพิ่มขึ้นเป็นหลายพันตัว เรียกว่าวงจรรวมขนาดใหญ่ (Large Scale Integration, LSI) ในราว ปี 1971 ใน

---

* ทรานซิสเตอร์ (transistor) ถูกประดิษฐ์โดยนักฟิสิกส์ 3 คน ได้แก่ จอห์น บาร์ดีน (John Bardeen) วอลเตอร์ เอช. แบรตเตน (Walter H. Brattain) และวิลเลียม ช็อกเลย์ (William Shockley) ซึ่งทรานซิสเตอร์ในยุกแรกนั้นเรียกว่า point-contact transistor จาก Pierre Aigrain. Microelectronics : An Industry in Transition, Boston : Unwin Hyman, 1988 : 9.

[1] Pierre Aigrain, Microelectronics:an industry in transition.Boston:Unwin Hyman,1988: 8-13.

ปัจจุบันสามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ลงในวงจรรวมได้ถึงนับหมื่นนับแสนตัว เรียกว่า วงจรรวมขนาดใหญ่มาก (Very Large Scale Integration, VLSI) บางคนเรียกวงจรกลุ่มนี้ว่า ไมโครชิป (Microchip) และจากทิศทางความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เชื่อได้ว่าในอนาคตอันใกล้นี้มนุษย์สามารถสร้างวงจรรวมที่สามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ได้หลายล้านตัว นักวิชาการบางกลุ่มจึงจัดให้มีกลุ่มวงจรรวมที่มีความหนาแน่นสูง เพิ่มอีก 2 กลุ่ม คือ Ultra Large Scale Integration และ Giant Large Scale Integration [2]

ประเภทและรูปแบบของวงจรรวม

การจำแนกประเภทของวงจรรวม สามารถจำแนกได้หลายแนวทาง ดังนี้

2.1 การจำแนกตามขนาดความจุของจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ [3] มีดังนี้

วงจรรวม	จำนวนชิ้นส่วน	ปีที่เริ่มใช้ (พ.ศ.)
SSI (Small Scale Integration)	2-100	2504
MSI (Medium Scal Integration)	100-1,000	2509
LSI (Large Scale Integration)	1,000-20,000	2514
VLSI (Very Large Scale Integration)	10,000-500,000	2523
ULSI (Ultra Large Scale Integration)	500,000-10,000,000	ปัจจุบัน
GLSI (Giant Large Scale Integration)	มากกว่า 10,000,000	อนาคต

2.2 การจำแนกตามเทคโนโลยีการผลิต [4] มีดังนี้

---

[2] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม", อ้างแล้ว : 10-11.

[3] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา , เรื่องเดียวกัน, อ้างแล้ว : 10-11.

[4] บวร ปภัสราทร, ประเสริฐ คันธมานนท์ และสุเมธ อังคะศิริกุล, เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม ASIC, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย -ญี่ปุ่น, 2533 : 16-17.

ก. แบบ Bipolar เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันมากในยุคแรกในช่วงปี 1970 Bipolar IC มีสัดส่วนถึง 90 % ของยอดขายวงจรรวมทั่วโลก วงจรรวมแบบ Bipolar มีข้อดีในเรื่องความเร็ว และสามารถใช้กับกระแสไฟฟ้าสูงๆได้ แต่มีข้อเสีย คือ ใช้พลังงานมากกว่า ซึ่งก่อให้เกิดความร้อนภายในวงจรทำให้ไม่สามารถผลิตวงจรรวมที่มีความหนาแน่นมากๆได้ จึงเสื่อมความนิยมลง ปัจจุบันมักใช้จำกัดอยู่แค่อุปกรณ์การสื่อสาร

ข. แบบ MOS (Metal Oxide Semiconductor) เป็นเทคโนโลยีที่เริ่มใช้ตั้งแต่ปี 1962 ซึ่งเทคโนโลยีแบบ MOS ทำให้วงจรรวมมีความหนาแน่นได้มากกว่า ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า และมีต้นทุนการผลิตถูกกว่า จึงทำให้ได้รับความนิยมแทนที่วงจรรวมแบบ Bipolar วงจรรวมหลักๆ จะใช้เทคโนโลยีแบบ MOS ผลิต เช่น Microprocessorและ Dynamic Random Access Memory (DRAM)

เทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมแบบ (pMOS) เอ็มมอส (nMOS) และซีมอส (cMOS) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีล้วนแต่มีข้อดีของตัวเอง กล่าวคือ เทคโนโลยีพีมอสเป็น เทคโนโลยีที่ผลิตได้ง่าย เทคโนโลยีเอ็มมอสสามารถสร้างอนุกลที่ต้องการความเร็วได้ดี ส่วนเทคโนโลยีซีมอสมีข้อดีที่การประหยัดพลังงานในการทำงาน

2.3 การจำแนกตามหน้าที่การทำงาน [5] มีดังนี้

ก. Logic เป็นวงจรที่ทำงานเชิงตรรกในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และการปฏิบัติการเกี่ยวกับข้อมูลที่มีอยู่ในหน่วยความจำ

ข. Microprocessor เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลส่วนกลาง (Central Processing Units ,CPU)

ค. Memory (หรือวงจรหน่วยความจำ) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำของเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ แม้ว่าวงจรหน่วยความจำจะมีความจุสูง แต่ก็มีโครงสร้างง่ายๆ คือ เป็นการประกอบจากกลุ่มทรานซิสเตอร์ต่อกับตัวเก็บประจุไฟฟ้า ในลักษณะเดียวกันนับล้านกลุ่ม จึงไม่ยุ่งยากในการออกแบบวงจร แต่มีความซับซ้อนในกระบวนการผลิตสูงมาก แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

---

[5] วรวัฒน์ ศรียุกต์ "วัฏจักรทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ : อดีต ปัจจุบัน และอนาคต" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535) : 29-30.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วงจรรวม ROM (Read-Only Memory) ที่สามารถใช้อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว และวงจร RAM (Ramdon-Access-Memory) ที่สามารถเก็บความจำได้แบบชั่วคราวและสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เก็บระหว่างใช้งานได้ จึงสามารถบันทึกและอ่านข้อมูลได้ วงจรรวม RAM สามารถแยกย่อยได้อีก คือ DRAM (Dynamic RAM) เป็นวงจรรวมที่ความจำระหว่างใช้งานจะมีการทวนซ้ำข้อมูลตลอดเวลา สามารถเพิ่มขนาดความจุของหน่วยความจำให้สูงขึ้นได้ และ SRAM (Static RAM) เป็นวงจรรวมที่ความจำระหว่างใช้งานจะอยู่คงที่ตลอด ส่วนวงจร ROM นั้นสามารถแยกย่อยเป็น EPROM (Erasable Programmable ROM) เป็นวงจร ROM ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความจำถาวรได้ด้วยแสง Ultraviolet (UV) และสามารถบรรจุโปรแกรมลงไปใหม่ได้ด้วยกระแสไฟฟ้า และ EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) เหมือนกับ EPROM เพียงแต่การลบและเปลี่ยนแปลงข้อมูลทำด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างเดียวได้

ง. **Specialty Devices** เป็นการออกแบบพิเศษเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องใช้นั้นๆ ได้แก่ Full-Custom IC และ Semi-Custom IC

2.4 การจำแนกตามลักษณะการใช้งาน [6] มีดังนี้

ก. วงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐาน (Standard Product Integrated Circuit หรือ SPIC) เป็นวงจรรวมที่มีการใช้รวมกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยจะใช้กับสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีความซับซ้อนมากมาย ผู้ผลิต SPIC จะกำหนดหน้าที่การทำงานของ SPIC ไว้ แล้วผู้ผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ก็จะซื้อ SPIC มาประกอบกับส่วนประกอบอื่นๆ สร้างขึ้นเป็นสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เพื่อออกจำหน่ายต่อไป

วงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐาน สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) วงจรรวมที่ผู้ผลิตกำหนดหน้าที่การทำงานไว้ตายตัวไม่อาจเปลี่ยนแปลงได้ วงจรกลุ่มนี้จะผลิตออกจำหน่ายเป็นชุด โดยวงจรรวมแต่ละตัวในชุดนั้นจะกำหนดคงที่ให้ทำหน้าที่หน้าที่หนึ่งโดยเฉพาะ

---

[6] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม", อ้างแล้ว : 11-17.

(2) วงจรรวมที่ผู้ใช้สามารถกำหนดหน้าที่การทำงานได้เองตามความเหมาะสม โดยจะต้องมีชุดคำสั่งการทำงานบรรจุอยู่ในหน่วยความจำภายในหรือภายนอกวงจรรวมนั้นก่อน จึงจะสามารถทำงานได้ตามความต้องการ

วงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานจะผลิตออกจำหน่ายในลักษณะผลิตคราวละมากๆ และผลิตแต่ละครั้งจะเป็นแสนหรือล้านตัวขึ้นไปเพราะเนื่องจากต้นทุนในการออกแบบสูงมาก ดังนั้นการผลิตวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานจึงจำกัดอยู่เพียงบริษัทขนาดใหญ่ในประเทศอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่แห่งในโลก โดยส่วนใหญ่อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น

ข. วงจรรวมเฉพาะกิจ (Application Specific Integrated Circuit หรือ ASIC) * เป็นวงจรที่ผลิตในลักษณะเฉพาะลูกค้า (Custom Made) กล่าวคือ ผู้ผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์สามารถกำหนดแบบวงจรรวมได้ตามความต้องการ โดยจะมีบริษัทที่รับงานออกแบบและผลิตวงจรรวมให้มีคุณสมบัติตามความต้องการหรือตามใบสั่งงานของผู้ผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์หรือผู้ใช้โดยตรง ทั้งนี้อาจจะลดจำนวนวงจรรวมบนแผนวงจรพิมพ์ให้น้อยลง โดยรวบรวมวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานหลายตัวเข้าเป็นวงจรรวมเฉพาะกิจตัวเดียวกันหรืออาจดัดแปลงหน้าที่การทำงานของวงจรรวมที่ใช้ในสินค้าของตนให้มีคุณภาพพิเศษต่างไปจากวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป

ข้อดีของวงจรรวมเฉพาะกิจ คือ

-ป้องกันการลอกเลียนแบบสินค้า ซึ่งลอกเลียนแบบวงจรรวมเฉพาะกิจได้ยาก เพราะผู้ผลิตสินค้าเป็นผู้กำหนดแบบวงจรรวมเองเป็นลักษณะเฉพาะตัว

-เพิ่มความเชื่อถือได้ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีอุปกรณ์น้อยลง

-ลดต้นทุนการผลิตซึ่งเห็นได้ชัดจากการที่ขาดแผงวงจรพิมพ์มีขนาดเล็กลง ราคาจึงถูกลงด้วย และลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น

-เพิ่มประสิทธิภาพสินค้าและการแข่งขันในตลาดการค้า เนื่องจากลดเวลาการออกแบบลงได้มาก และดัดแปลงให้สินค้ามีคุณสมบัติตามความต้องการของลูกค้าได้[7]

---

* หมายเหตุ ในเรื่อง ASIC และเทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบวงจรรวมนี้ ผู้เขียนได้สรุปเนื้อหาส่วนใหญ่มาจาก "เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม ASIC" ของบวร ปภัสราทร และคณะ โปรดดูเชิงอรรถที่ 7.

[7] บวร ปภัสราทร, ประเสริฐ คันธมานนท์ และสุเมธ อังคะศิริกุล, เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม ASIC, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2533 : 3.

เนื่องจากการออกแบบและการผลิตวงจรรวมเฉพาะกิจ ต้องลงทุนในเบื้องต้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นการผลิตในลักษณะเฉพาะลูกค้าที่สั่งจำนวนไม่มาก ต้นทุนของวงจรรวม ASIC ต่อตัวจะสูงกว่าต้นทุนต่อตัวของ SPIC มาก แต่การลงทุนรวมทั้งหมดต่อครั้งของวงจรรวมเฉพาะกิจจะต่ำกว่าวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานมาก ดังนั้น วงจรรวมเฉพาะกิจจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญของผู้ประกอบการขนาดกลาง และเล็กในประเทศอุตสาหกรรมใหม่ โดยเฉพาะไต้หวัน เกาหลีใต้ และฮ่องกง ทั้งนี้เนื่องจากเพียงมีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเพียงเครื่องเดียว ก็สามารถรับออกแบบได้แล้ว [8]

วงจรรวมชนิด ASIC สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะผู้ออกแบบ (ผู้ใช้หรือผู้ผลิต)

1.1 Full -Custom ASIC มีลักษณะคล้ายกับวงจร SPIC เพียงแต่ผู้ใช้เป็นผู้ออกแบบโดยผู้ใช้กำหนดได้ตั้งแต่ระดับต่ำสุด คือ ทรานซิสเตอร์เป็นต้นไป จนกระทั่งรวมเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ที่ทำงานได้ตามความต้องการ ผู้ใช้จึงมีความคล่องตัวในการเลือกใช้งานสูงที่สุด แต่ผู้ออกแบบต้องมีทักษะความสามารถและประสบการณ์สูง

1.2 Semi -Custom ASIC หรือ Standard Cell ผู้ผลิตจะกำหนดกลุ่มวงจรที่ทำหน้าที่พื้นฐานรวมไว้ในวงจรรวมอันเดียวกัน (เรียกว่า Cell) ผู้ใช้ จะเป็นผู้ออกแบบเชื่อมโยง Cell เหล่านี้โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบให้เป็นวงจรรวมที่ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้วงจรรวมชนิดนี้มีบทบาทมากในวงการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศอุตสาหกรรมใหม่ อาจารย์ บวร ปภัสราทร และคณะมีความเห็นว่า ประเทศไทยมีความพร้อมทั้งด้านบุคลากร และเครื่องมือในการออกแบบวงจรรวม ASIC ประเภทนี้ [9]

วงจรรวม ASIC แบบ **Semi-Custom** สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1.2.1 Programmable Logic Devices (PLD)

เป็นวงจรรวมเฉพาะกิจที่รวมวงจรพื้นฐานประเภท (Gate) แบบต่าง ๆ ไว้ในวงจรรวมตัวเดียวกัน โดยผู้ใช้สามารถออกแบบเชื่อมโยงวงจรประเภทนี้ได้เองตามความต้องการไม่ต้องส่งกลับไปให้ผู้ผลิตทำการเจือสารอีกครั้งแต่อย่างใด

---

[8] บวร ปภัสราทร, ประเสริฐ คันธมานนท์ และสุเมธ อังคะศิริกุล, เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวม ASIC ,อ้างแล้ว:3.

[9] บวร ปภัสราทร, ประเสริฐ คันธมานนท์ และสุเมธ อังคะศิริกุล, เรื่องเดียวกัน, อ้างแล้ว : 4.และ 131-132.

1.2.2 Gate Array

เป็นวงจรรวมเฉพาะกิจที่รวบรวมวงจรพื้นฐานประเภท (Gate) แบบต่าง ๆ ไว้ในวงจรรวมตัวเดียวกันคล้ายกับวงจรรวมแบบ PLD เพียงแต่วงจรรวมประเภท Gate Array นี้ เมื่อผู้ใช้ออกแบบต่อสายเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มวงจรรวมเชิงตัวเลข หรือ Macrocell ในวงจรรวม Gate Array แต่ละตัวเข้าด้วยกันเสร็จสิ้นแล้ววงจรรวมประเภทนี้ต้องส่งไปให้ผู้ผลิตเจือสาร

อนึ่ง การออกแบบวงจรรวม Gate Array นี้ ผู้ใช้ต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับตัววงจรรวม Gate Array และ Macrocell ที่บรรจุอยู่ภายในวงจรรวมตัวนั้น ซึ่งโดยปกติผู้ผลิตจะส่งมาให้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

1.2.3 Standard Cell

วงจรรวมเฉพาะกิจประเภทนี้ ผู้ผลิตได้ทำการออกแบบวงจรรวมให้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ทำหน้าที่ตามต้องการ เรียกว่า Standard Cell และได้เก็บไว้ในรูปของแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ (เรียกว่า Cell Library) * หากผู้ใช้ต้องการจะออกแบบวงจรรวม ผู้ผลิตก็จะส่ง Cell Library ไปให้ผู้ใช้เลือก Standard Cell ที่อยู่ในแฟ้มข้อมูล Cell Library และนำมาออกแบบเชื่อมโยงกันให้เป็นวงจรที่ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) แล้วจึงส่งกลับไปให้ผู้ผลิตเจือสารอีกครั้งหนึ่ง

2. แบ่งตามลักษณะทางโปรแกรม

2.1 Field Programmable ASIC

วงจรรวมเฉพาะกิจประเภทนี้ ผู้ผลิตได้สร้างชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็นบรรจุไว้ในตัววงจรรวม เมื่อผู้ใช้ซื้อวงจรรวมประเภทนี้ไปแล้ว ผู้ใช้สามารถออกแบบและเชื่อมโยงชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เข้าเป็นวงจรที่ทำงานตามความต้องการได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องส่งกลับไปดำเนินการเจือสารที่โรงงานของผู้ผลิตอีกครั้งแต่อย่างไร แต่ผู้ใช้จะต้องมีคอมพิวเตอร์และซอฟท์แวร์ช่วยออกแบบและเครื่องมือพิเศษบางอย่างจึงจะดำเนินการได้ ตัวอย่างของวงจรกลุ่มนี้ ได้แก่ Programmable Logic Device (PLD)

---

* Cell Library ของผู้ผลิตแต่ละรายจะมีความแตกต่างกัน เพราะผู้ผลิตแต่ละรายจะรวบรวมวงจรต่าง ๆ เป็น Standard Cell แตกต่างกันและมีเทคนิคหรือวิธีการในการเจือสารที่แตกต่างกันในผู้ผลิตแต่ละราย

2.2 Mask Programmable ASIC

วงจรรวมเฉพาะกิจประเภทนี้ ผู้ใช้มีอิสระในการออกแบบและกำหนดหน้าที่การทำงานของวงจรรวมได้เอง โดยมีเครื่องมือช่วยในการออกแบบเป็นคอมพิวเตอร์ระดับ Engineering Workstation หรือ Main Frame หลังจากออกแบบเสร็จสิ้นแล้วก็จะส่งให้บริษัทผู้ผลิตเจือสาร ตัวอย่างของวงจรกลุ่มนี้ ได้แก่ Gate Array, Standard Cell เป็นต้น

กระบวนการผลิตและออกแบบวงจรรวม

กระบวนการผลิตและออกแบบวงจรรวมประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ รวม 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 กระบวนการออกแบบ (Circuit Design)

กระบวนการออกแบบวงจรรวมเป็นขั้นตอนแรกในการผลิตวงจรรวมที่มีความสำคัญมากโดยในวิทยาพนธ์ฉบับนี้ขอจัดแบ่งตามการแบ่งแยกของอาจารย์บวร ปภัสราทร ซึ่งได้แบ่งแยกไว้ใน "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่อง ผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม" ของศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้ก็เพราะจะสะดวกในการวิเคราะห์การให้ความคุ้มครองตามกฎหมายในบทที่ 4 และ 5 ต่อไป โดยแบ่งขั้นตอนการออกแบบวงจรรวมได้ 5 ขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

(1) ขั้นตอนกำหนดคุณลักษณะของวงจรรวม (Specification)

เป็นขั้นตอนแรกในการออกแบบวงจรรวมที่ต้องใช้ความคิดของมนุษย์ทั้งหมด โดยเริ่มต้นจากความจำเป็นหรือความต้องการของผู้ใช้ ฉะนั้น ผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ทางด้านเทคโนโลยีและด้านอื่นๆ เพื่อให้สามารถกำหนดคุณสมบัติวงจรรวมที่ผู้ใช้ต้องการอย่างชัดเจนเพียงพอที่จะดำเนินการออกแบบในขั้นตอนต่อไป อย่างเช่น ลักษณะการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เทคโนโลยีการผลิตที่จะใช้และการประยุกต์ใช้งานที่คาดหวังไว้ด้วย

(2) ขั้นตอนการออกแบบหน้าที่การทำงานของวงจรรวม (Function Design)

เมื่อมีการกำหนดคุณลักษณะของวงจรรวมตามขั้นตอนแรกเสร็จสิ้นแล้ว ผู้ออกแบบจะกำหนดหน้าที่การทำงานของวงจรรวมตามข้อมูลที่ระบุในลักษณะตามขั้นตอนแรกและเมื่อเสร็จสิ้น

ขั้นตอนนี้แล้ว จะมีแผนผังการทำงานของวงจรรวมที่ออกแบบในรูปของรูปภาพหรือคำบรรยายการทำงานก็ได้

(3) ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างการตรรกะของวงจรรวม (Logic Design)

ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบมีหน้าที่จัดทำหรือออกแบบโครงสร้างทางตรรกะของวงจรรวมนั้นให้สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้ตามแผนผังของการทำงานวงจรรวมตามข้อมูลที่ระบุในคุณลักษณะตามขั้นตอนแรกได้

(4) ขั้นตอนการออกแบบวงจรรวมทรานซิสเตอร์ของวงจรรวม (Transistor Circuit Design)

เมื่อกำหนดโครงสร้างทางตรรกะของวงจรเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ออกแบบก็จะมีหน้าที่กำหนดโครงสร้างที่ประกอบขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์จำนวนหนึ่งที่สามารถทำงานตามตรรกะที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่แล้วได้ ซึ่งจะมีความสลับซับซ้อนเพิ่มขึ้น ในการออกแบบในขั้นตอนนี้ เพราะวงจรรวมแต่ละตัวจะประกอบขึ้นด้วยทรานซิสเตอร์นับหมื่นนับแสนตัว ผู้ออกแบบในขั้นตอนนี้มักจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) มาช่วยเหลือด้วย

เนื่องจากขั้นตอนนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับลวดลายทางกายภาพของวงจรรวม ดังนั้นผู้ออกแบบในขั้นตอนนี้ก็มักจะเป็นผู้ออกแบบลวดลายทางกายภาพของวงจรรวมในขั้นต่อไปด้วย

(5) ขั้นตอนการออกแบบลวดลายทางกายภาพของวงจรรวม (Physical Layout Design)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการออกแบบขั้นตอนสุดท้ายผู้ออกแบบในขั้นตอนนี้มีหน้าที่กำหนดว่าจะสร้างทรานซิสเตอร์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆแต่ละตัวขึ้นที่ตำแหน่งในบนแผ่นผลึก (เรียกว่าการ Placement) กำหนดว่าทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะมีรูปร่างและลักษณะเป็นอย่างไร และกำหนดเส้นทางเชื่อมโยงทรานซิสเตอร์เหล่านั้นกับอุปกรณ์อื่นๆ(เรียกว่าการRouting)เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ ซึ่งการออกแบบในขั้นตอนนี้จะมีความสลับซับซ้อนมาก จึงต้องมีเครื่องมือที่ช่วยในการดำเนินการหลายชนิด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โรงงานผลิตวงจรรวมส่วนใหญ่จะเป็นผู้ดำเนินการออกแบบลวดลายทางกายภาพของวงจรรวมที่ตนผลิตขึ้นเอง โดยเฉพาะวงจรรวมหน่วยความจำและวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐาน ส่วนในกรณีของวงจรรวมเฉพาะกิจ โรงงานผลิตวงจรรวมส่วนใหญ่จะยอมให้ผู้ใช้ออกแบบจนถึงระดับโครงสร้างทางตรรกะ แล้วโรงงานจะนำมาออกแบบในขั้นตอนวงจรรวมทรานซิสเตอร์ และลวดลายทางกายภาพเอง แต่ถ้าเป็นการออกแบบวงจรรวม เพื่อการศึกษาและวิจัยโรงงานผลิตวงจรรวมหลายแหล่งก็ยอมรับการออกแบบในขั้นตอนออกแบบลวดลายทางกายภาพของวงจรรวม

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการออกแบบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ลวดลายที่ออกแบบนี้ผู้ออกแบบจะส่งไปยังโรงงานผลิตในรูปแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์และเป็นที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Layout Design หรือ Mask Layout หรือ Circuit Layout[10]

3.2 กระบวนการผลิตแผ่นผลึก (Wafer)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเอา Silicon ที่มีความบริสุทธิ์มากๆ มาผ่านกรรมวิธีในการปลูกผลึก เพื่อให้ได้ผลึก Silicon ชนิดผลิตเดี่ยวเป็นแท่งยาว ต่อจากนั้นจึงนำแท่งผลึกที่ได้ไปตัดเป็นแว่นผลึกตามขนาดความหนาที่ต้องการ แล้วจึงทำการขัดผิว (Lapping) และขัดให้ขึ้นเงา (Polishing) ต่อจากนั้นจะนำไปแว่นผลึกที่ได้ไปตรวจสอบ ซึ่งในขั้นตอนนี้มักไม่ได้ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิตวงจรรวมเอง แต่มักผลิตโดยบริษัทเคมีภัณฑ์ยักษ์ใหญ่ (มีบริษัทผลิตวงจรรวมใหญ่ๆ ผลิตขึ้นเองด้วยแต่น้อย เช่น บริษัท Motorola และ Texas Instrument เป็นต้น) กรรมวิธีการปลูกผลึกและตัดให้เป็นแผ่น Wafer นี้สามารถขอรับสิทธิบัตรได้ เพราะอาจจะมีสูตรส่วนผสมทางเคมีและกรรมวิธีในการทำให้ตกผลึก ที่ทำให้ได้แผ่น Wafer ที่มีคุณภาพดีในอัตราส่วนที่สูงในการผลิตครั้งหนึ่งๆ ในอุตสาหกรรมการปลูกผลึกและเตรียมแว่นผลึกนี้มีการคาดว่าประเทศญี่ปุ่นน่าจะเป็นผู้ครองตลาดในอนาคต

3.3 กระบวนการผลิตหน้ากาก (Mask)

ลวดลายที่ออกแบบไว้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ จะถูกนำมาแปลงแบบนั้นลงไปสู่แผ่นหน้ากาก (Mask) ซึ่งเป็นกระจกที่มีลวดลายตามที่ออกแบบไว้ และมีขนาดเท่าขนาด

---

[10] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม", อ้างแล้ว :17- 21.

จริงของวงจรรวม อาจจะมีหลายชิ้นตามความซับซ้อนของลวดลายที่ได้ออกแบบไว้ การสร้างลวดลายบนกระจกหน้ากากนี้ทำได้โดยวิธีการถ่ายภาพย่อส่วนลงบนกระจกด้วยกล้องชนิดพิเศษโดยการฉายลำแสง (Optical Beam Lithography) หรือใช้เทคนิคการฉายคำอิเล็กตรอน (Electron Beam Lithography) ในบางกรณีสามารถที่จะนำลวดลายที่ออกแบบไว้ไปสร้างบนแผ่นผลึกได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องผลิตหน้ากากก็ได้

3.4 กระบวนการเจือสารแว่นผลึกหรือปลูกผลึก (Wafer Processing or Wafer Fabrication)

ขั้นตอนนี้กล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนการผลิตตัววงจรรวมโดยตรง กระบวนการนี้มีเทคนิคการสร้างที่สำคัญ คือ กระบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation) เพื่อสร้างชิ้นออกไซด์ทำหน้าที่ฉนวนไฟฟ้า แล้วจะใช้เทคนิค Lithography ถ่ายทอดแบบวงจรทีละชั้นจากหน้ากากลงบนแผ่น wafer โดยใช้แสง Ultraviolet ในเครื่อง Stepper ยิงผ่านหน้ากากเพื่อให้เกิดรูปแบบเหมือนหน้ากาก ต่อจากนั้นก็จะมีการแพร่ซึมสารเจือปน (Diffusion) เพื่อแพร่อะตอมสารเจือปนเข้าไปในแว่นผลึก ให้เกิดเป็นชั้นต่างๆ และผ่านกระบวนการกัดเจาะ (Etching) เพื่อเปิดช่องบนชิ้นออกไซด์ตามลาดลายที่ออกแบบไว้ เพื่อแพร่อะตอมสารเจือปนเข้าไปในบริเวณที่ต้องการ โดยใช้เทคนิค Photolithography จะมีการทำซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของวงจรรวมที่ผลิต แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสร้างชั้นต่างๆบนแว่นผลึกจะแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของวงจรรวม และเทคโนโลยีที่ใช้

3.5 กระบวนการประกอบวงจรรวม และทดสอบ (IC Assembling and Inspection)

ในกระบวนการนี้จะนำแว่นผลึกที่ได้รับการเจือสารแล้วมาทำการตัดแยกออกเป็นชิ้นๆตามขนาดของไอซี โดยใช้เลเซอร์หรือเพชร (Diamand Cutter) แต่ละชิ้นเรียกว่า Chip หรือ Die หลังจากนั้นอาจมีขบวนการตัดชิ้นผลึก โดยการตรวจสอบด้วยสายตา แล้วจึงนำชิ้นผลึกเฉพาะส่วนที่ใช้ไปติดบนกรอบขา (Lead Frame) และเชื่อมโยงส่วนที่จำเป็นต่างๆของ Die เข้ากับขาต่างๆของ Lead Frame โดยใช้ลวดทองคำแล้วจึงนำไปทำการผนึก โดยใช้สารจำพวกพลาสติก เซรามิก หรือไฟเบอร์กลาส เพื่อป้องกันฝุ่นและไอน้ำ ก่อนนำไปตัดแต่งขาตามกำหนดและพิมพ์เบอร์ เพื่อส่งไปทำการทดสอบคุณสมบัติด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าวงจรรวมที่ผลิตมานั้น สามารถทำงานได้น่าเชื่อถือก่อนที่จะส่งไปถึงมือผู้ใช้

กระบวนการประกอบวงจรรวมนี้เป็นขั้นตอนที่อุตสาหกรรมวงจรรวมในประเทศไทย และประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นขั้นตอนการผลิตที่ใช้แรงงานของมนุษย์เป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญโดยทั่วไปแล้วอุตสาหกรรมวงจรรวมหน่วยความจำและวงจรรวมผลิตภัณฑ์มาตรฐานส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมข้ามชาติ กล่าวคือ กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิตหน้ากากและกระบวนการเจือสารดำเนินการในประเทศอุตสาหกรรมเพราะต้องใช้เทคโนโลยีสูงและไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคนมาก แต่กระบวนการประกอบวงจรรวมนั้นไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง แต่ใช้แรงงานคนมากจึงดำเนินการใน ประเทศกำลังพัฒนาซึ่งมีแรงงานมากและราคาถูก ส่วนอุตสาหกรรมวงจรรวมเฉพาะกิจมีความแตกต่างไปบ้าง กล่าวคือ กระบวนการออกแบบมีการดำเนินการทั้งในประเทศอุตสาหกรรมและประเทศกำลังพัฒนา แต่กระบวนการเจือสารและผลิตหน้ากากส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในประเทศอุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้วเช่นกัน ส่วนกระบวนการประกอบอาจกระทำที่เดียวกับที่ดำเนินการเจือสารหากจำนวนการผลิตไม่มากนักหรืออาจดำเนินการในประเทศที่แรงงานราคาถูกก็ได้หากจำนวนการผลิตสูงมาก [11]

แนวโน้มเทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบวงจรรวมในอนาคต

วงจรรวมเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เพิ่งถูกคิดค้นได้ในเวลาเพียง 30 กว่าปี ที่ผ่านมา แต่ก็ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมากในทางด้านเทคโนโลยี และมีแนวโน้มที่จะได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต เนื่องจากมีอุปสงค์ (Demand) อย่างมากมาย และมีการแข่งขันที่เข้มข้นมาก มีการใช้เงินลงทุนในการค้นคว้าวิจัยและพัฒนา (R & D) สูงมาก และมีการร่วมกิจการระหว่างบริษัทยักษ์ใหญ่ เพื่อแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีกันอย่างมากมาย ดังนั้น จึงส่งผลให้แนวโน้มของเทคโนโลยีการผลิตและออกแบบวงจรรวมในอนาคต มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วในรายงานความก้าวหน้าโครงการศึกษาวิจัยเรื่อง การให้ความคุ้มครองแก่การออกแบบวงจรรวมที่เสนอต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาโดยอาจารย์ ดร.เลอสรร

---

[11] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม", อ้างแล้ว : 21.

ธนสุกาญจน์ได้คาดการณ์แนวโน้มเทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบวงจรรวมในอนาคตว่าจะมีทิศทางการพัฒนาไปดังต่อไปนี้ [12]

1) การเพิ่มจำนวนความหนาแน่นของจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ มีการคาดการณ์ว่าภายในทศวรรษหน้า เทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมสามารถเพิ่มจำนวนความหนาแน่นของจำนวนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากวงจรรวมขนาดใหญ่มาก (Very Large Seale Integration, VLSI) ซึ่งมีความจุ 20,000-500,000 ชิ้นที่เป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน มาเป็นวงจรรวมระดับใหม่ เรียกว่า Ultra Large Scale Integration (ULSI) ซึ่งมีความจุ 500,000- 10,000,000 ชิ้น ในปัจจุบันก็มีการผลิตวงจรในระดับนี้ได้บ้างแล้ว หรือ Giant Large Scale Integration (GLSI) ซึ่งมีความจุมากกว่า 10,000,000 ชิ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของวงจรรวมสูงมากยิ่งขึ้น

2) ขนาดของลายเส้นการออกแบบวงจรรวมมีแนวโน้มจะลดลงเรื่อยๆต่อไปในอนาคต จึงทำให้ขนาดของวงจรรวมจะมีขนาดเล็กลงหรือมีขนาดเท่าเดิม แต่จะมีจำนวนความหนาแน่นของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น

การลดขนาดของลายเส้นบนวงจรรวมขึ้นกับเทคโนโลยีในการวาดลายเส้นบนหน้ากาก (Mask) ซึ่งในสมัยก่อนใช้กรรมวิธี Photolithography มีขนาดความกว้างลายเส้นประมาณ 2 ไมครอน แต่เทคโนโลยีในปัจจุบันเริ่มหันมาใช้เทคโนโลยี Electron Beam Lithography และ X-Ray Lithography มาใช้วาดลวดลายบนแผ่นเวเฟอร์ได้โดยไม่ต้องใช้หน้ากาก (Mask) ซึ่งสามารถลดขนาดความกว้างของลายเส้นได้ต่ำกว่าระดับ 0.5 ไมครอน และในอนาคตก็สามารถลดขนาดลงไปได้อีกจนถึง 0.35 0.25 และ 0.18 ไมครอน [13]

3) วัสดุที่ใช้ทำวงจรรวมในปัจจุบันใช้ Siliconในการผลิตเป็นแผ่นรองรับ (Substrate) เกือบทั้งหมด แต่แนวโน้มในอนาคตเทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมอาจจะใช้สาร Gallium Arsenide หรืออาจใช้สารกึ่งตัวนำและสารที่มีคุณสมบัติทางแสงประกอบกัน เพื่อให้ได้วงจรรวมที่มีความเร็วสูงขึ้น และกินไฟน้อยลง

4.) มีการเปลี่ยนแปลงระบบทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นพื้นฐานของวงจรรวม เพราะเริ่มมีการนำการประมวลข้อมูลแบบขนานมาใช้แทนการประมวลข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งวิธีหนึ่ง

---

[12] เลอสรร ธนสุกาญจน์ "รายงานความก้าวหน้า โครงการศึกษาวิจัยเรื่องการให้ความคุ้มครองแก่การออกแบบวงจรรวม" เสนอ กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์, 2538.

[13] การจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์,เอกสารอัดสำเนา.

ของการประมวลข้อมูลแบบขนานคือ การใช้คอมพิวเตอร์แสง (Optical Computer) มีความสามารถในการประมวลข้อมูลหาคำตอบได้เร็วกว่ามาก แต่คอมพิวเตอร์แสงจะต้องใช้วงจรรวม ซึ่งใช้แสงแทนปริมาณที่ต้องการประมวลแทนที่จะใช้ไฟฟ้า ซึ่งสารที่จะใช้ทำวงจรรวมอาจประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำและสารที่มีคุณสมบัติทางแสงด้วย นอกจากนี้ อาจมีการนำสารตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) มาใช้ประโยชน์ได้จริงในเชิงพาณิชย์ ก็อาจมีการนำมาใช้ผลิตวงจรรวมก็ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและมีความเร็วสูงขึ้น

5) เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมมีการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยมากยิ่งขึ้น จนมีการคาดการณ์กันว่า ในอนาคตคนออกแบบวงจรรวมเพียงแต่กำหนดคุณลักษณะและหน้าที่การทำงานของวงจรรวมเท่านั้น กล่าวคือ กำหนด functional specifications และ interface specifications แล้วก็จะให้คอมพิวเตอร์ไปจัดการออกแบบวงจรรวมเอง ทั้งหมด [14]

นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ(CAD)ยังช่วยให้สภาพของอุตสาหกรรมวงจรรวมเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะความมีประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบได้ก่อให้เกิดบริษัทรับจ้างออกแบบวงจรรวมขึ้นมามากมาย จนทำให้วงจรรวมเฉพาะกิจ(ASIC)ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆดังนั้น สภาพอุตสาหกรรมวงจรรวมจากเดิมที่งานออกแบบและผลิตวงจรรวมอยู่ในบริษัทเดียวกันก็เริ่มเปลี่ยนไปทำให้เกิดบริษัทที่รับจ้างออกแบบเพียงอย่างเดียวเกิดขึ้นซึ่งเป็นธุรกิจแบบใหม่ในอุตสาหกรรมวงจรรวมและเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้อาจจะส่งผลต่อแนวโน้มของเทคโนโลยีของการผลิตและการออกแบบวงจรรวมในอนาคตด้วย โดยเปลี่ยนมาพัฒนาวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC)มากขึ้น

แนวโน้มความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการผลิต และการออกแบบวงจรรวมในอนาคตอาจจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานสากลในการให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวมด้วย โดยเฉพาะในเรื่องการกำหนดคำนิยามคำว่า “วงจรรวม” “งานออกแบบวงจรรวม” หรือ “ภูมิสภาพวงจรรวม” รวมทั้งหลักความคิดริเริ่ม (Originality) เป็นต้น ดังนั้น ในการร่างกฎหมายการให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรของประเทศไทย จึงควรพิจารณาทั้งด้านการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงทางสภาพตลาดและการแข่งขันในอุตสาหกรรมวงจรรวมในตลาดโลก ประกอบกับศักยภาพทางด้านเทคโนโลยีและสภาพอุตสาหกรรมของประเทศไทยด้วย

---

[14] เลอสรร ธนสุกาญจน์ “รายงานความก้าวหน้า โครงการศึกษาวิจัยเรื่องการให้ความคุ้มครองแก่การออกแบบวงจรรวม” เสนอ กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์, 2538.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานภาพทางเทคโนโลยีการผลิตและออกแบบวงจรรวมในประเทศไทย

อุตสาหกรรมวงจรรวมมีความสำคัญในเศรษฐกิจของไทยค่อนข้างสูง โดยมีมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์วงจรรวมเป็นอันดับต้นๆมาโดยตลอด ในปี 1990 มีมูลค่าการส่งออกถึง 22,000 ล้านบาท แต่มีข้อน่าพิจารณาว่า มูลค่าการส่งออกนี้เป็นการส่งออกกลับคืน (Re-Export) [15] กล่าวคือ อุตสาหกรรมวงจรรวมในไทยนั้น ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นสาขาของบริษัทข้ามชาติขนาดใหญ่ของสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และกลุ่มสหภาพยุโรป ซึ่งทำการผลิตเพื่อป้อนบริษัทแม่เป็นสำคัญ การผลิตวงจรรวมในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นแค่กระบวนการประกอบ (Assembly) หรือทดสอบ (Test) วงจรรวมเท่านั้น ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ใช้แรงงานที่ไม่มีฝีมือจำนวนมาก บริษัทที่ลงทุนในประเทศไทยได้รับประโยชน์จากค่าจ้างแรงงานที่มีอัตราต่ำ กล่าวคือ ชิ้นส่วนและปัจจัยการผลิตที่สำคัญ เกือบทั้งหมดต้องนำมาจากต่างประเทศ ผู้ผลิตภายในประเทศเพียงต่อขาและทำตัวถัง (Casing) เมื่อทำการทดสอบแล้วก็มักจะส่งออกไปทั้งหมด ดังนั้น การเจริญเติบโตดังกล่าวเป็นผลจากการลงทุนจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของผู้ประกอบการไทยยังอยู่ในระดับต่ำ และมีการพัฒนาไม่มากนัก เนื่องจากเทคโนโลยีและการผลิตยังคงอยู่ในมือของบริษัทต่างประเทศ และประกอบกับอุตสาหกรรมสนับสนุน เช่น อุตสาหกรรมเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ก็ยังอ่อนแอ และเทคโนโลยีส่วนใหญ่ก็ยังคงอยู่ในมือของบริษัทต่างชาติเหมือนกัน [16]

5.1. สถานภาพทางเทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมในประเทศไทย

อุตสาหกรรมผลิตวงจรรวมในประเทศไทยเกิดขึ้นในประเทศไทยเมื่อประมาณ 17-18 ปีมาแล้ว โดยบริษัทแรกที่เริ่มผลิตวงจรรวม คือ บริษัท ทวีอิเล็กทรอนิกส์(Chinteik Electronic Industry) เป็นการผลิตขั้นการประกอบหรือทดสอบ แล้วก็ถูกส่งออกไปต่างประเทศเกือบทั้งหมดตลอดเวลาที่ผ่านมารูปแบบของการพัฒนาในอุตสาหกรรมวงจรรวมก็ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก แม้กระทั่งโรง

---

[15] วรวัฒน์ ศรียุกติ,เรื่องเดียวกัน, อ้างแล้ว : 133.

[16] อนุภาพ ถิรลาภ, ความไม่สมดุลของการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมไทย, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2536 : 83-85.

งานผลิตวงจรรวมที่ตั้งล่าสุดในปี 1992 ในประเทศไทย คือ บริษัท Toshiba Semiconductor ก็เป็นแค่เพียงการประกอบและทดสอบ Bipolar IC และทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ล้าสมัยแล้ว ซึ่งในอนาคตการประกอบในส่วนนี้คงจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้น การลงทุนของบริษัทต่างประเทศในประเทศไทย ก็เพื่อหวังประโยชน์จากการจ้างแรงงานที่มีราคาถูกเท่านั้น แทบจะไม่มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่คนไทยเลย และบริษัทผลิตวงจรรวมส่วนใหญ่ก็เป็นบริษัทสาขาของบริษัทข้ามชาติ เช่น National Semiconductor (Bangkok) Ltd., Signetics Thailand Co., Ltd, Hana Group of Companies, Semiconductor Ventures Internatoinal Co., Ltd. (SVI), GSS Electronics (Thailand) Ltd. และ Sony Semiconductor (Thailand) Ltd. เป็นต้น ซึ่งก็เป็นเพียงบริษัทที่ประกอบและทดสอบวงจรรวม แล้วส่งออกเท่านั้น โรงงานประกอบและทดสอบวงจรรวมในประเทศไทยมีจำนวน 16 โรง มีกำลังการผลิตรวมกันปีละประมาณ 4,270 ล้านชิ้น ทั้งนี้ในปี 2536 มีการส่งออก IC มูลค่าประมาณ 26,600 ล้านบาท ซึ่งในการผลิตจะต้องนำเข้าแผ่นวงจรรวมมาใช้ในการผลิตไม่ต่ำกว่าปีละประมาณ 20,000 ล้านบาท [17] จึงกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตวงจรรวมของไทย ในขณะนี้ยังอยู่ในระยะเริ่มต้นและยังล้าหลังประเทศเกาหลีใต้หรือไต้หวันไม่ต่ำกว่า 10 ปี [18]

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีบริษัทเอกชนของไทยรายหนึ่งได้ลงทุนก่อตั้งโรงานผลิตวงจรรวมในลักษณะของการรับจ้างผลิต (Foundry Business) ในประเทศไทย * โดยเป็นการซื้อเทคโนโลยีทุกอย่างแบบ turn key เปรียบได้กับเป็นการยกโรงงานเจือสารจาก Silicon Valley มาตั้งไว้ในประเทศไทย หากโรงงานดังกล่าวเน้นการผลิตวงจรรวมแบบมาตรฐาน (SPIC) ซึ่งลักษณะธรรชาติของธุรกิจ

---

[17] สมเจตน์ อังคธีรวัฒน์ "อุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์" วารสารส่งเสริมการลงทุน ปีที่ 6 (ม.ค. 2538) ฉ.1 : 33-39.

[18] วรวัฒน์ ศรียุกต์,เรื่องเดียวกัน, อ้างแล้ว : 133-134.

* บริษัท Sub-Micron Technology ได้ขอรับการส่งเสริมการลงทุนจากรัฐบาล โดยได้ขอยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล, ภาษีเครื่องจักร และขอสิทธิประโยชน์ในการส่งออกเป็นการร่วมทุนระหว่างบริษัท Alphatec Electronics ซึ่งเป็นผู้ผลิต IC รายใหญ่ในประเทศไทย และกลุ่มธนาคารพาณิชย์ในประเทศ ทั้งนี้เป็นการลงทุนของคนไทยทั้งสิ้น จะมีการจ้างคนงานไทยรวม 650 คน เทคโนโลยีที่ใช้เป็นเทคโนโลยีล่าสุดโดยเส้นวงจรขนาด 0.5 ไมครอน บนแผ่นเวเฟอร์ขนาด 8 นิ้ว โปรดดู สมเจตน์ อังคธีรวัฒน์ "อุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์" วารสารส่งเสริมการลงทุน,ปีที่ 6 (ม.ค. 2538) ฉ.1:33-39.

ประเภทนี้ต้องมีการผลิตเป็นจำนวนมาก (mass production) เพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำลง เนื่องจากต้นทุนที่สูง ซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการเจือสารที่มียอดขายต่ำในลักษณะที่คนไทยหรือบริษัทขนาดเล็กหรือขนาดกลางในประเทศอาจจะได้รับผลประโยชน์ เพราะศักยภาพการออกแบบของคนไทยอยู่ในขั้นการออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) เท่านั้น [19]

แต่อย่างไรก็ตาม การมีโรงงานเจือสารในประเทศไทยก็มีข้อดีดังนี้ [20]

1. มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแว่นผลึกหรือการเจือสารวงจรรวม รวมทั้งเทคโนโลยีอื่นๆที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

2. มีการพัฒนาบุคลากรได้มากและเร็วขึ้น

3.ช่วยให้เกิดความต่อเนื่องระหว่างโรงงานเจือสารกับผู้ออกแบบวงจรรวมของไทยและระหว่างลูกค้าผู้นำวงจรรวมไปใช้กับโรงงานเจือสารด้วย หากมีการสนับสนุนยอมเจือสารวงจรรวมที่จำนวนน้อยตามแบบวงจรเฉพาะกิจที่ผู้ออกแบบคนไทยมีศักยภาพทำได้

4.เพิ่มการจ้างแรงงานคนไทยและเพิ่มความมั่นคงทางด้านเทคโนโลยี่ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในระดับหนึ่ง

5. มีการใช้วัตุดิบภายในประเทศเพิ่มมากขึ้นและลดการสูญเสียเงินตรา

มีข้อน่าเป็นห่วงสำหรับการก่อตั้งโรงงานเจือสารในประเทศไทยหากเน้นการผลิตวงจรรวมมาตรฐาน (SPIC)มีดังนี้

1. เป็นการลงทุนที่สูงมาก ประมาณ 50,000 ล้านบาทและเป็นการลงทุนที่ไม่สามารถหวังผลในระยะสั้นได้ เพราะต้องมีการลงทุนในการค้นคว้าวิจัยและพัฒนา(R & D) อยู่ตลอดเวลา และต้องปรับปรุงเครื่องจักรให้ทันสมัยอยู่เสมอ

2.การหาตลาดในวงจรรวมประเภท SPIC ถูกผูกขาดเกือบทุกขั้นตอนโดยผู้ผลิตรายใหญ่ประเทศที่ต้องการใช้วงจรรวม คือ ประเทศที่พัฒนาแล้วหรือประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (NICs) ต่างก็มี

---

[19] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายเกี่ยวกับทรัพย์สินทางปัญญา", เสนอสำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2537 : 180.

[20] บวร ปภัสราทร และคณะ "รายงานการวิจัยและพัฒนา เรื่อง โครงการออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก" เสนอศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2531 : 27-28. และเอกสารการขอรับการส่งเสริมผลิตแผ่นเวเฟอร์วงจรรวมเสนอต่อคณะรัฐมนตรี,เอกสารอัดสำเนา .

โรงงานเจือสารเป็นของตนเองในประเทศทั้งสิ้นประกอบกับอุตสาหกรรมสนับสนุนของไทยก็ยังอ่อนแอ เทคโนโลยีส่วนใหญ่ก็ยังเป็นของต่างประเทศอยู่

3. ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คือหากไม่มีการประสานงานที่ดีระหว่างภาครัฐบาลและภาคเอกชน การมีโรงงานเจือสารผลิตวงจรรวมมาตรฐาน (SPIC) ก็อาจจะไม่เอื้ออำนวยต่อการเพิ่มศักยภาพการออกแบบวงจรรวมของคนไทยที่อยู่ในระดับการออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) มากนักก็ได้[21]

ศักยภาพด้านการผลิตแผ่นเวเฟอร์วงจรรวมในประเทศไทย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบังมีศูนย์วิจัยที่สามารถทดลองผลิตแผ่นเวเฟอร์วงจรรวมที่ใช้ขนาดลายเส้น 20 ไมครอนที่ไม่ซับซ้อนได้ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ก็ได้ให้ความสนใจและได้ดำเนินการในด้านการวิจัยและพัฒนาการออกแบบวงจรรวมมาตั้งแต่เมื่อปี 2529 และเมื่อเดือนพฤษภาคม 2537 ก็ได้ก่อตั้งห้องปฏิบัติการไมโครอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น โดยมีนักวิจัยทางด้านออกแบบแต่ยังขาดนักวิจัยทางด้านการผลิต และในขณะนี้ NECTEC กำลังจัดทำโครงการก่อตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติขึ้น มีโครงการจะใช้เงินรวมทั้งสิ้นประมาณ 600 ล้านบาทภายในระยะเวลาประมาณ 5 ปี เพื่อการทำวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแผ่นเวเฟอร์วงจรรวมโดยจะร่วมมือกับมหาวิทยาลัยและภาคเอกชน[22]

---

[21] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่องการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายเกี่ยวกับทรัพย์สินทางปัญญา", อ้างแล้ว : 180.

[22] เอกสารการจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์, เอกสารอัดสำเนา.

5.2. สถานภาพทางเทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมในประเทศไทย

การออกแบบวงจรรวมของไทยส่วนใหญ่ดำเนินการในลักษณะงานวิจัยในระดับมหาวิทยาลัย* ที่มีศักยภาพในการออกแบบวงจรรวมและได้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันโดยได้รับความสนับสนุน NECTEC โดยได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยี่อิเล็กทรอนิกค์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) เป็นหลักและวงจรรวมที่ออกแบบส่งนใหญ่ก็ไม่ใช่วงจรที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากนัก เป็นการออกแบบโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ เพราะขาดแคลอนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการช่วยออกแบบและอุปกรณ์เครื่องมือในการเจือสาร ทำให้สามารถเจือสารได้เฉพาะวงจรรวมในระดับ SSI และ MSI เท่านั้นจึงไม่สามารถทำให้ลักษณะการผลิตเพื่ออุตสาหกรรมได้ การเจือสารวงจรรวมในระดับ LST และ VLST จะต้องส่งไปเจือสารที่ประเทศออสเตรเลีย[23]

ในปี พ.ศ. 2529 ประเทศไทยได้รับความช่วยเหลือในโครงการความร่วมมือทางเศรษฐกิจระหว่างประเทศอาเซียนและออสเตรเลีย (AAECP) โดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ได้จัดตั้งคณะทำงานโครงการออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่มากและวงจรรวม ASIC ในประเทศไทย โดยได้รับการสนับสนุนให้ใช้โปรแกรมช่วยการออกแบบของประเทศออสเตรเลียและส่งไปเจือสารที่ประเทศออสเตรเลีย[24] และได้พยายามผลักดันให้มีการตั้งศูนย์

---

* มหาวิทยาลัยที่มีศักยภาพในการออกแบบวงจรรวมและได้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน โดยได้รับความสนับสนุนจาก NECTEC

(1) ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์คอมพิวเตอร์และสำนักคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

(2) ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์คอมพิวเตอร์ และศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

(3) ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(4) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[23] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา,เรื่องเดียวกัน,อ้างแล้ว.

[24] บวร ปภัสราทร และคณะ "รายงานการวิจัยและพัฒนา เรื่อง การพัฒนาของซอฟท์แวร์ช่วยออกแบบวงจรรวม (NECTEC II (phase I) "เสนอ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ 2531 : 11.

ออกแบบวงจรรวม ASIC ในมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ขึ้นซึ่งจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระดับ WORK STATION พร้อมทั้งซอฟท์แวร์ออกแบบวงจรรวมและบุคลากรผู้เชี่ยวชาญพร้อมที่จะให้คำปรึกษาและบริการออกแบบวงจรรวมเชิงพาณิชย์ให้แก่ผู้ประกอบธุรกิจที่สนใจ จึงส่งผลให้ขีดความสามารถและศักยภาพของการออกแบบวงจรรวมในประเทศไทยเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสามารถออกแบบลวดลายทางกายภาพของวงจรรวมได้ และในปี พ.ศ. 2531 ก็สามารถออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก (VLSI) ได้คือ

- วงจรควบคุมตำแหน่งสำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม
- วงจรนับเอนกประสงค์
- วงจรรวมสำหรับโมเดม

แต่ก็ยังต้องส่งไปเจือสารที่ประเทศออสเตรเลียอยู่ดี [25] นอกจากนี้ คณะกรรมการดังกล่าวยังมีโครงการที่จะขยายกิจกรรมการออกแบบวงจรรวมไปสู่มหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาต่างๆที่มีการสอนทางวิศวกรรมทุกแห่งในประเทศไทยเพราะอุตสาหกรรมนี้ประเทศไทยยังขาดแคลนบุคลากรที่สามารถออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่ได้เป็นจำนวนมากและยังได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนนำวงจรรวมที่ออกแบบในประเทศไทยไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ ซึ่งก็เริ่มมีผู้ประกอบการหลายรายให้ความสนใจ และได้นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ของตนในเชิงพาณิชย์ได้แล้ว* รวมทั้งยังได้ส่งเสริมให้มีการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยี พื้นฐานในการออกแบบวงจรรวมโดยจัดงบวิจัยให้ [26]

---

[25] บวร ปภัสราทร และคณะ, เรื่องเดียวกัน, อ้างแล้ว : 27-28.

* บริษัทเอกชนที่ให้ความสนใจเข้าร่วมโครงการ มีดังนี้

1. บริษัท IRC จำกัด ผู้ผลิตแผงแสดงผลภาษาไทย สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์
2. บริษัทอิมพิเรียล ไททอยส์ จำกัดผู้ผลิตของเล่นอิเล็กทรอนิกส์
3. บริษัท เสถียรอุตสาหกรรม จำกัด ผู้สนใจจะผลิตเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์
4. บริษัท นาย่า อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ผู้ผลิตโทรทัศน์ เครื่องบันทึกเสียงและวิทยุ.

[26] บวร ปภัสราทร และคณะ ,เรื่องเดียวกัน,อ้างแล้ว.

ปัญหาและอุปสรรคในการส่งเสริมเทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมคือ [27]

1)ขาดเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับใช้เพื่องานออกแบบวงจรรวม อันได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ระดับสถานีงาน (Workstation) ที่เหมาะสมกับการใช้งานทางด้าน Computer-Aided Design (CAD) และชุดโปรแกรมสำหรับงานทางด้านการออกแบบวงจรรวมโดยตรง

2)ขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถและเข้าใจในการใช้งานเครื่องมือช่วยออกแบบวงจรรวมตามข้อ 1) ตลอดจนความเข้าใจในขั้นตอนการออกแบบวงจรรวมและการส่งวงจรรวมไปเจือสาร

3)ประเทศไทยไม่มีโรงงานเจือสารวงจรรวมเชิงพาณิชย์จึงต้องพึ่งโรงงานเจือสารต่างประเทศซึ่งมีปัญหาในเรื่องความเข้าใจและการประสานงานติดต่อกัน และแม้ในอนาคตประเทศไทยจะมีโรงงานเจือสารเป็นของตนเองแต่หากเป็นโรงงานเจือที่รับเจือสารเฉพาะวงจรรวมมาตรฐาน ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับศักยภาพการออกแบบของคนไทยที่เน้นการออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) เพราะใช้เงินลงทุนน้อยกว่า และหาตลาดภายในประเทศไทยและประเทศเพื่อนใกล้เคียงง่ายกว่า

4)เทคโนโลยีการออกแบบและการผลิตวงจรรวมได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมาก ทำให้ต้องกระทำการศึกษาวิจัย และพัฒนาอยู่ตลอดเวลา มิฉะนั้นจะล้าสมัยได้ถ้าไม่มีการพัฒนาต่อไป

5) ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการบริหารงานคอมพิวเตอร์ของรัฐ เป็นอุปสรรคในการจัดหาเครื่องมือวิจัย รวมทั้งอัตราอากรและขั้นตอนของการนำเข้าส่วนอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่เอื้ออำนวยต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้วย

ความสามารถการออกแบบวงจรรวมของคนไทยอยู่ในระดับ Transitor Circuit Design ในวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) แต่ไม่ใช่คนไทยไม่มีความสามารถออกแบบในระดับ Physical Layout Design เป็นเพราะการออกแบบในระดับ Physical Layout Design ของไทยนั้น ในระยะแรกโรงงานเจือสารของต่างประเทศไม่ยอมรับการออกแบบในระดับ Physical Layout Design จะยอมรับเฉพาะการออกแบบในระดับ Transitor Circuil Design จากลูกค้าแล้วโรงงานจะออกแบบ Physical Layout Design เอง [28] แต่ทิศทางเทคโนโลยีการผลิตและการออกแบบวงจรรวมของโลกเริ่มเปลี่ยนแปลงไป

---

[27] บวร ปภัสราทรและคณะ "รายงานการวิจัยและพัฒนาเรื่องโครงการออกแบบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก" เสนอศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2532 : 27-28.

[28] ศูนย์วิจัยกฎหมายและการพัฒนา "รายงานการศึกษาวิจัยเรื่อง ผลกระทบกรณีที่ประเทศไทยให้ความคุ้มครองการออกแบบวงจรรวม", อ้างแล้ว : 136.

หันมาให้ความนิยมวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC)* เพราะวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) มีการผลิตเฉพาะแบบยืดหยุ่นมากกว่าวงจรรวมมาตรฐาน ที่ต้องผลิตเป็นจำนวนมากๆ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนสูง และหาตลาดมารับรองผลผลิตจำนวนมากได้ยาก การผลิต ASIC ใช้เงินลงทุนต่ำกว่าและไม่ต้องผลิตเป็นจำนวนมากเหมาะสำหรับสินค้าที่มีตลาดเล็ก และเป็นการผลิตตามความต้องการของลูกค้า ทำให้สินค้ามีความแตกต่างจากคู่แข่ง และสามารถป้องกันการเลียนแบบได้ดีกว่า[29] ผลของแนวโน้มนี้ก่อให้เกิดบริษัทที่รับออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจออกมามากมาย ซึ่งเป็นบริษัทขนาดเล็ก เน้นเฉพาะการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีเท่านั้น ไม่มีโรงงานเจือสารของตน ดังนั้น โรงงานเจือสารจึงเริ่มยอมรับการออกแบบวงจรในระดับ Physical Layout Design มากขึ้น

มีผู้เสนอว่าแนวโน้มของการออกแบบวงจรรวมของไทยควรจะมุ่งไปในเทคโนโลยีการผลิตที่มีแนวโน้มในอนาคต ซึ่งก็คือเทคโนโลยีวงจรรวมเฉพาะกิจ เพราะการรับออกแบบ ASIC ใช้เงินลงทุนไม่สูงมาก ใช้เวลาในการออกแบบและผลิตไม่ยาวนานเพราะสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และมีความยืดหยุ่นในการออกแบบให้เหมาะสมกับสินค้าของผู้ประกอบการไทยที่ไม่มีปริมาณการผลิตมากนัก จึงเป็นการเปิดช่องทางการแข่งขันของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ที่แตกต่างจากตลาด โดยใช้ระยะเวลาออกแบบและผลิตน้อย ทำให้สามารถวางสินค้าในตลาดได้เร็วกว่าและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าจึงสามารถหาตลาดได้ง่ายกว่า ซึ่งเท่ากับเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมสินค้าอิเล็กทรอนิกส์อื่นด้วย และเทคโนโลยี ASIC เป็นเทคโนโลยีที่ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา มีผู้ครอบครองเทคโนโลยีไม่มากนัก ประกอบกับศักยภาพการออกแบบวงจรรวมของไทยมีแนวโน้มจะพัฒนาไปในแนวนี้ได้ ทำให้ประเทศไทยมีโอกาสที่จะพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวทันผู้นำเทคโนโลยีได้ง่ายกว่า[30] และแนวโน้มของทางภาครัฐบาลก็ได้เริ่มหันมาให้ความสนใจเหมือนกันโดยได้มีการจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนา

---

* ASIC มีอัตราการเติบโตสูงมากโดยมีมูลค่าการขายทั่วโลกในปี 1991 ถึง 9.7 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา สูงกว่ายอดขายปี 1990 ถึง 18%มีส่วนแบ่งในตลาดวงจรรวมของโลกทั้งหมดสูงถึง 21% และมีการพยากรณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในอนาคต โปรดดู วรวัฒน์ ศรียุกต์,เชิงอรรถ 7:136.

[29] วรวัฒน์ ศรียุกต์ "วัฏจักรทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ : อดีต ปัจจุบันและอนาคต" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535) : 137-138.

[30] วรวัฒน์ ศรียุกติ์,เรื่องเดียวกัน : 137.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติขึ้นมา ซึ่งมีแนวนโยบายให้การส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีวงจรรวม โดยให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีทางด้านวงจรรวมเฉพาะกิจเป็นพิเศษ[31]

จากการสัมภาษณ์ ดร.บวร ปภัสราทร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญการออกแบบวงจรรวมได้ให้ความเห็นว่า วงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) จะพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมากในอนาคต สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคตส่วนใหญ่จะมีวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) เป็นส่วนประกอบสำคัญ และสำหรับอุตสาหกรรมวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) ในประเทศไทยมีสัดส่วนประมาณ 15% ของมูลค่าการส่งออกวงจรรวมของไทย และจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมูลค่าการส่งออกวงจรรวมมีดังนี้

ปี	มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)
2530	15,179
2531	18,854
2532	18,424
2533	21,580
2534	25,754
2535	28,580
2536	35,546

ที่มา : กรมศุลกากร (จากเศกสรรค์ เรืองโวหาร. อิเล็กทรอนิกส์นำทั้งการลงทุนและส่งออก วารสารส่งเสริมการลงทุน,ปีที่ 5(เดือนก.ค. 2537)ฉ.6 : 33)

สำหรับการออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) ของไทยในเชิงพาณิชย์ได้มีการออกแบบแผงแสดงผลภาษาไทยสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อออกจำหน่ายได้สำเร็จแล้ว และแนวโน้มของการออกแบบวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC) ของไทยอาจจะเติบโตได้ในอุตสาหกรรมของเล่น หรือสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการรูปลักษณ์เฉพาะตัวเป็นจุดขาย เป็นต้น โดยจะทำในลักษณะของ Mask Programmable ASIC ซึ่งต้องนำไปเจือสารหลังจากออกแบบเสร็จแล้ว จึงอาจส่งผลให้มีบริษัทรับจ้าง

---

[31] เอกสารการจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์, เอกสารอัดสำเนา.

ออกแบบเกิดขึ้นมามากมาย เหมือนกับประเทศเกาหลีใต้ ไต้หวัน และสิงค์โปร์ เป็นต้น และทำให้อุตสาหกรรมวงจรรวมพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะวงจรรวมเฉพาะกิจ (ASIC)[32]

สรุปได้ว่า การออกแบบวงจรรวมของไทยส่วนใหญ่เป็นการออกแบบในระดับมหาวิทยาลัยเท่านั้น โดยโครงการของ NECTEC เป็นหลักและวงจรรวมที่ออกแบบก็ไม่ใช่วงจรที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากนัก การออกแบบที่จะทำเป็นการค้าหรือเชิงพาณิชย์เพิ่งเริ่มมีเอกชนให้ความสนใจร่วมมือ และได้มีการสนับสนุนในเรื่องอุปกรณ์ช่วยเหลือการออกแบบ เช่น คอมพิวเตอร์ และซอฟท์แวร์ ช่วยในการออกแบบจึงคาดว่าในอนาคตเทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมของไทยน่าจะไปได้ดี และแนวโน้มการออกแบบวงจรรวมของไทยก็มุ่งมาให้ความสนใจกับการออกแบบ ASIC มากขึ้น ตามแนวโน้มของตลาดโลก และเหมาะสมกับสภาพของประเทศไทย ส่วนในกรณีที่มีโรงงานเจือสารมาตั้งในประเทศไทยนั้น หากผู้ผลิตหรือโรงงานเจือสารนั้นยอมสนับสนุนการออกแบบวงจรรวมของไทย ซึ่งทำให้ระดับ ASIC ก็จะทำให้เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมของไทยพัฒนาไปได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้ว ทางรัฐบาลควรให้การสนับสนุนอุตสาหกรรมวงจรรวมด้วย อย่างเช่น จัดตั้งหน่วยงานวิจัยและพัฒนา (R & D) ขึ้นมาสนับสนุนด้านเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ จัดตั้งกองทุนขึ้นมาสนับสนุนด้านการเงินให้การส่งเสริมโดยให้สิทธิประโยชน์ทางด้านภาษีหรือรัฐบาลอาจลงทุนเองโดยตรง โดยจัดตั้งบริษัทวิสาหกิจขึ้นมาดำเนินการ เป็นต้น เพื่อเป็นการสร้างศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่งต่างประเทศ และส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเนื่องจากเป็นโครงการที่ใช้เงินลงทุนสูงและมีเทคโนโลยีที่สูงและทันสมัย

---

[32] สัมภาษณ์ ดร. บวร ปภัสราทร วันที่ 24 เมษายน 2538.