

เทคนิคการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

□ โดย สุภาพร อุดมลิน

เทคนิคการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1. Discrete Technique.
2. Integrated Circuit Technique.
3. Hybrid Technique.

1) Discrete Technique.

แต่ละชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของวงจรจะแยกกันเห็นได้ชัด Active devices (ซึ่งได้แก่ทรานซิสเตอร์, ไดโอด, Field Effect Transistor เป็นต้น) และ Passive devices (resistor capacitor, transformer และ inductor) จะแยกกันเป็นชั้น ๆ ติดอยู่บนแท่นและต่อกันด้วยสายไฟโดยการบัดกรีเชื่อม หรืออาจประกอบอยู่บนแผงวงจรและต่อกันด้วยวีวทองแดง ซึ่งคิดแน่นอนอยู่บนแผ่นพลาสติกแข็งหรือแผ่นไมก้าบาง ๆ

การใช้แผงวงจรเหมาะสำหรับการประกอบวงจรไฟฟ้าเป็นอุตสาหกรรม ทำให้ลดแรงงานที่ใช้ความผิดพลาดน้อยลงและไม่จำเป็นต้องใช้คนงานที่มีความชำนาญสูงวงจรที่ผลิตโดยใช้แผงวงจรจะมี reliability สูงและทำให้การตรวจแก้ง่ายขึ้นด้วย คงสังเกตเห็นได้ว่าปัจจุบันนี้วงจรในวิทยุทรานซิสเตอร์ และโทรทัศน์จะประกอบอยู่บนแผงวงจรแทนการใช้ที่พิกสายและสายไฟแบบเก่า

ข้อจำกัดของ Discrete Technique คือไม่เหมาะกับวงจรที่ยุ่งยากมากและในการประกอบจำนวนมาก ๆ จะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับอีก 2 วิธีที่จะกล่าวต่อไป ถ้าหากจะประกอบเครื่องคำนวณโดยใช้ Discrete Technique ผลลัพธ์ได้เครื่องคำนวณที่มีขนาดใหญ่, ใช้กำลังไฟฟ้ามาก, ราคาแพงและยากต่อการตรวจแก้ Discrete Technique เหมาะสำหรับวงจรที่ไม่ยุ่งยากนักและจำนวนการผลิตต่ำ

2) Integrated Circuit Technique.

คำว่า Integrated circuit หรือคำย่อว่า IC มักใช้แทน Fully integrated circuit หรือ monolithic integrated circuit ซึ่งชิ้นส่วนทุกอย่างที่ประกอบเป็นวงจร

เนอยู่ใผลึกซิลิกอนชั้นเล็ก ๆ ชั้นเดียวไม่สามารถแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้เหมือนอย่าง discrete circuit. ทั้ง active devices, passive devices เป็นส่วนอยู่บนชั้นเดียวกัน แต่ impurity concentration และรูปร่างต่างกัน.

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้าง ของวงจรแบบง่าย ๆ ซึ่งประกอบด้วย Transistor, resistor และ capacitor. ชั้นซิลิกอนผลึกเดี่ยว (single crystal) ซึ่งใช้เป็น substrate เป็นแบบ p-type, ชั้นของ p-type และ n-type จะถูก diffused ทับกันลงไปเป็นลำดับ รูปร่างความหนาและ impurity concentration จะต้องถูกควบคุมให้แน่นอน ชั้นของ $S_i O_2$ บนซิลิกอนจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันอนุกรมเนื้อซึ่งใช้เป็นทวนำเชื่อมชั้นส่วนต่าง ๆ ไปรคส่งเกตุความหนาของชั้นต่าง ๆ

Monolithic IC เหมาะสำหรับวงจรที่ยังยากซับซ้อนและจำนวนการผลิตสูงมาก วงจรจะมี reliability สูงและราคาต่อชิ้นต่ำ ต้นทุนในการผลิตของ IC สูงมากเนื่องจาก เครื่องมือราคาแพงและการออกแบบต้องมีการลงทุนค้นคว้ามาก เพื่อแข่งขันให้ขายได้มากที่สุด วัสดุที่ใช้ทำ IC เป็นเพียงซิลิกอนชั้นเล็ก ๆ กับ "กลอง" ซึ่งไม่แพงกว่าวัสดุที่ใช้ทำ ทรานซิสเตอร์ธรรมดามากนัก ดังนั้นถ้าหากผลิตและขายได้เป็นจำนวนมาก ราคาของ IC จะใกล้เคียงกับราคาของวัสดุซึ่งถูกมาก หลักการออกแบบ IC ผิดกับหลักการออกแบบ discrete circuit มาก ตัวอย่างเช่นการทำ active components คือ Transistor, FET (Field Effect Transistor) และ MOS (Metal Oxide Semiconductor) จะง่ายและ ถูกกว่าการทำ resistor และ capacitor ค่าสูง ๆ และไม่สามารถทำ inductor ที่มีประสิทธิภาพดีลงบน IC ได้ ค่าความต้านทานใน integrated circuit จะถูกจำกัดที่ประมาณ 50 k ohms. ความต้านทานสูงกว่านั้นอาจทำได้โดยใช้ active component ซึ่งควบคุมค่า ได้ยากและเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิมาก capacitor อาจเป็นแบบซึ่งทำได้ง่ายและถูก กว่าหรือแบบ Junction capacitor ซึ่งไม่ขึ้นกับความต่างศักย์ และอุณหภูมิ ทั้งสอง แบบนั้นจะได้ค่า Oxide capacitance ประมาณ 0.3 PF/mil^2 จะเห็นได้ว่า capacitor ที่มีค่าสูงจะใช้เนื้อที่มากกว่า เนื้อที่จึงเป็นข้อจำกัดไม่ให้มี capacitor ค่าสูง ๆ ใน monolithic IC Inductor ซึ่งปกติเป็นขดลวดจะทำลงในชั้นซิลิกอนได้ยากมากจึงไม่ใช้ inductor ใน monolithic IC ถ้าหากจำเป็นอาจใช้ active circuit แทน Transformer

ก็ใช้ active circuit แทนเช่นเดียวกัน.

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นวงจรไฟฟ้าของ MC 1530 Operational amplifier วงจรประกอบด้วย 11 resistors, 10 transistors และ 4 diodes อยู่รวมกันบนชั้นซิลิกอนขนาดประมาณ $100 \times 100 \text{ mil}^2$ นอกจากนี้ไม่สามารถจะแยกชิ้นส่วนต่างๆ ออกจากกันแล้วยังยากที่จะซ่อมให้เห็นว่าส่วนไหนทำหน้าที่เป็นอะไร

รูปที่ 3 คือรูปขยายของ Decimal-Arithmetic unit ซึ่งใช้ใน Computer processor เป็น Large scale integrated circuits ซึ่งประกอบด้วย MOS ถึง 6,000 ตัว ชั้นซิลิกอนมีขนาด $235 \times 289 \text{ mils}^2$ วงจรที่มีความหนาแน่นสูงมากเช่นนี้จะต้องการสูญเสียพลังงานต่ำมาก มิฉะนั้นจะมีปัญหาในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น.

ที่ OFF กระแสไฟที่ผ่าน MOS และ FET จะน้อยกว่า Leakage current ของ transistor ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยนอกจากนี้การทำ MOS และ FET ยังใช้เนื้อที่น้อยกว่าทรานซิสเตอร์ธรรมดาอีก คือใช้เนื้อที่ประมาณ 6 mil^2 และด้วย polyplanar process จะใช้เนื้อที่เพียง 0.5 mil^2 ดังนั้นใน Large scale integrated circuit จึงใช้ MOS กันมากทั้งวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เร็วกว่า

3) Hybrid Technique

สำหรับ Hybrid circuit พวก passive components คือ capacitors, resistors และ conducting path จะทำได้โดยใช้ฟิล์มโลหะเคลือบอยู่บน Substrate ซึ่งมักจะเป็น ceramic แต่อาจเป็นแก้วหรือ sapphire ก็ได้. การทำ Inductor จะยุ่งยากและมีขนาดใหญ่ จึงไม่นิยมใช้ inductor ใน Hybrid circuit นอกจากสำหรับวงจรที่ทำงานในช่วงความถี่ของ Microwave ซึ่งใช้ inductor ค่าต่ำ Active components อันได้แก่ transistors, diodes, FETS หรืออาจจะเป็นวงจรสำเร็จคือ monolithic integrated circuits จะถูกติดตั้งบน substrate. Active components ที่มัลติโงและขานเป็นโลหะจะถูกเชื่อม, บัดกรีหรือใช้ conductive epoxy ก็คือ Active components ที่เป็นรูปของชั้น silicon ที่ไม่มัลติโงจะต้องใช้วิธียุ่งยาก และแพงกว่า แต่จะได้วงจรที่หนาแน่นกว่า

หมายเหตุ	1 mil	= 10^{-3}	inch
	1 micron	= 10^{-6}	meter = 3.94×10^{-3} mil
	1 Angstrom	= 10^{-10}	meter

Hybrid circuit. จะมี reliability และความหนาแน่นสูงกว่า discrete circuit มากในขณะที่ยังคงต้นทุนการผลิตและขอบเขตการผลิต 'flexible' กว่าการผลิต fully integrated circuit มาก ปัจจุบันโรงงานผลิต monolithic integrated circuits ส่วนใหญ่อยู่ในสหรัฐอเมริกา โรงงานอุตสาหกรรมมือเล็กทรอนิกส์ในยุโรปและญี่ปุ่นไม่กี่แห่งทำ monolithic integrated circuit ส่วนใหญ่ทำ Hybrid circuit อุตสาหกรรม Hybrid circuit เป็นที่นิยมมากเนื่องจากความต้องการวงจรซับซ้อนที่มีคุณภาพดีและขนาดเล็กในราคาถูก แต่เป็นวงจรที่ไม่แพร่หลายพอที่จะทำโดยวิธี Monolithic IC ค่าเครื่องมือในการผลิต Hybrid จะถูกกว่าเครื่องมือผลิต integrated circuit มาก การออกแบบและการทำแบบพิมพ์สำหรับ Hybrid ขนาดปกติซึ่งประมาณว่ามี 5 monolithic integrated circuit, 20 resistors และ 15 transistors จะต้องลงทุนประมาณสองพันดอลลาร์ซึ่งถูกกว่าการออกแบบทำ integrated circuits มาก ดังนั้นสำหรับวงจรกิจจณ์จำนวนประมาณน้อยกว่าหนึ่งแสนชิ้น hybrid circuit จะถูกกว่า integrated circuit นอกจากเรื่องราคาแล้ว Hybrid circuit ยังเหมาะสำหรับวงจรที่ทำงานในช่วงความถี่ของ microwave และวงจรที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง.

Hybrid Technique แบ่งเป็นสองอย่างคือ thin film ซึ่งความหนาของฟิล์มโลหะน้อยกว่า 20 microns และ thick film ซึ่งความหนาของฟิล์มโลหะมากกว่า 120 microns ถ้าวัสดุสำหรับทำ thin film จะถูกกว่าและสามารถควบคุมคุณภาพของ thin film ได้แน่นอนกว่าแบบ thick film แต่เครื่องมือสำหรับผลิต thin film จะแพงกว่าเครื่องมือ สำหรับ thick film ประมาณสิบเท่า. เครื่องมือผลิต thick film ขนาดที่ผลิตได้ประมาณ 30-60 ชิ้นต่อชั่วโมงจะมีราคาประมาณ 10,000 ดอลลาร์

รูปที่ 4 คือ IF amplifier สำหรับสัญญาณความถี่ 30 MHz. ขนาด 1" x 1" x 0.15"

Thick Film Circuit

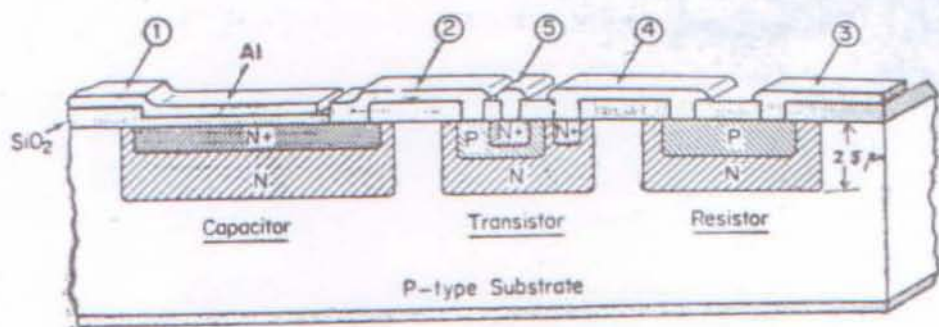
Resistors, capacitors และ connecting paths จะถูกพิมพ์บน substrate โดยการอัด thick-film paste ผ่านตะแกรงลวดขนาดที่มากหลักการคล้ายการอัดโรเนียวกระดาษ หลังจากนั้น substrate จะถูกอบให้แห้งแล้วผ่านเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750°C

ถึง 1000°C เพื่อหลอมแล้วผสมอยู่ใน thick-film paste ให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับ substrate ซึ่งเป็น ceramic. Thick films paste เป็นส่วนผสมของโลหะ, โลหะออกไซด์, แก้วและ organic solvent อัตราส่วนการผสมจะกำหนดว่า paste จะเป็น resistive, dielectric หรือ conductive.

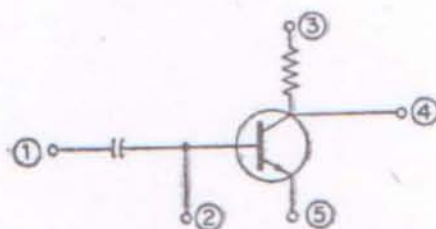
Resistive paste จะมีค่าความต้านทานตั้งแต่ 1 ohm/square ถึง 10^8 ohms/square. ค่าความต้านทานของ resistor จะอยู่ในประมาณช่วง $\pm 4\%$ และสามารถปรับให้ใกล้เคียงถึง $\pm 0.1\%$ โดยใช้แสงเลเซอร์แต่งความกว้าง Resistance โดยวิธี thick film จะคงที่มากและมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเล็กน้อย ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน 1% ต่อหนึ่งปีและ Temperature coefficient มีค่าประมาณ 100 ppm/°C คือค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปเพียง $100/10^6$ ส่วนเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศาเซนติเกรด Dielectric paste มีค่า dielectric ทำจะทำให้เป็นฉนวนและที่มีค่า dielectric สูงใช้ทำเป็น capacitor. เช่นเดียวกับ resistor, capacitor จะมีความคงที่มากและเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิน้อย.

References :

1. Harry. E. Thomas: Handbook of integrated circuit, Prentice-Hall, INC.
2. Frankin C. Fitchen: Electronic Integrated circuit, Van Nostrand Reinhold Company
3. Hybrids for microwove gear, P. 104 Electronics Magazine August 16, 1973.
4. New Products International, P.15 E. Electronics Magazine March 15, 1973.



(a) Structure



(b) Schematic

Fig. 1 COMPONENT CROSS SECTION

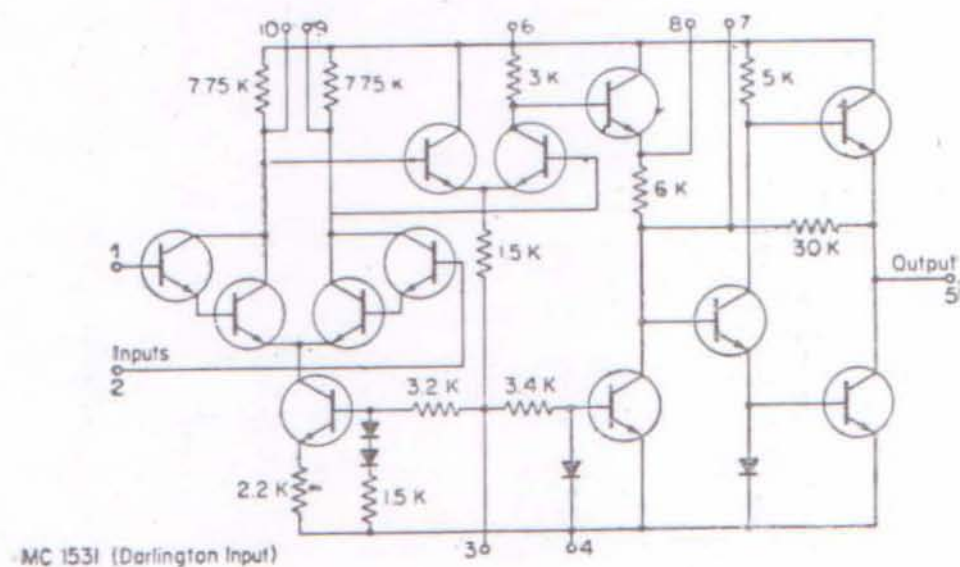
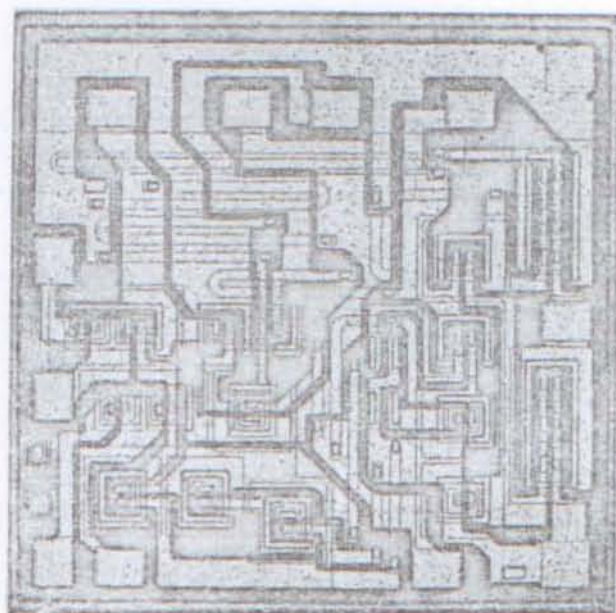


FIG. 2 A

FIG 2 B



OD-AMP Chip Layout

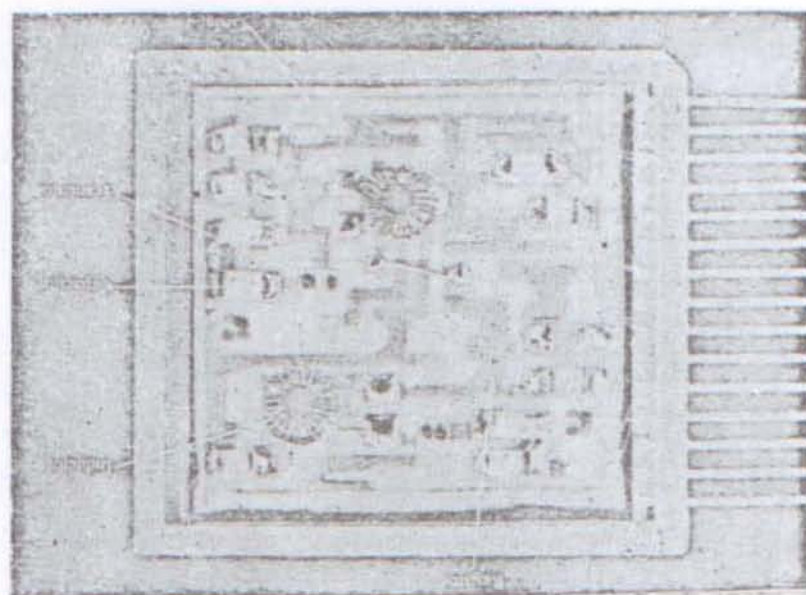


FIG. 4 Film hybrid 30 MHz IF amplifier for communications systems. Package is about $1\frac{1}{2} \times 1 \times 0.15$ ". (Courtesy Sylvania Electric Products, Inc.)

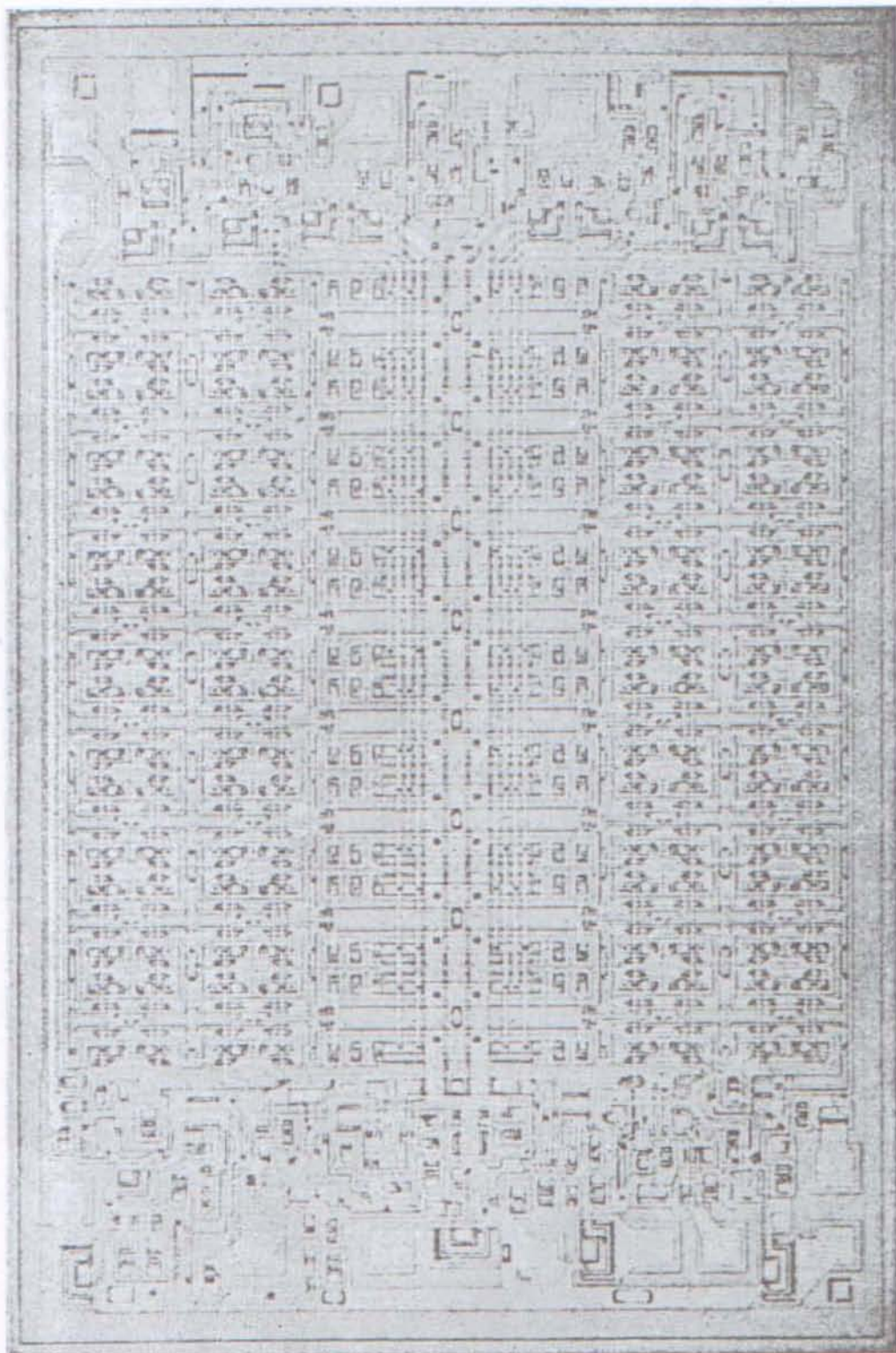


FIG. 3

MOS Digital Differential Analyzer 60,000 unit/sq in