

## CIRCUITI INTEGRATI E CALCOLATORI

In questi ultimi decenni l'elettronica si è straordinariamente evoluta: da un lato i componenti elettronici sono diventati più complessi e raffinati, dall'altro le loro dimensioni si sono ridotte di moltissimi ordini di grandezza. Un calcolatore elettronico che cinquanta anni fa, quando si usavano tubi elettronici, occupava una stanza intera, può ora stare nel palmo di una mano; inoltre, la potenza elettrica richiesta per il suo funzionamento si è ridotta in proporzione.

### I circuiti integrati

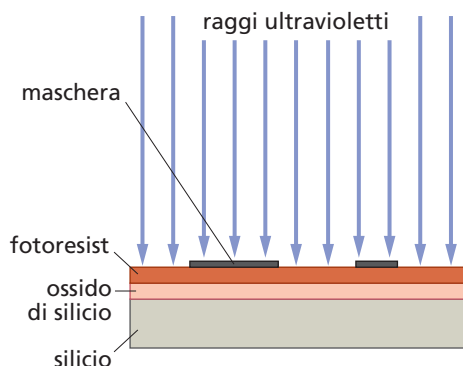
Ciò che ha reso possibile questo rapido processo di miniaturizzazione è stato lo sviluppo dei circuiti integrati, che non impiegano transistori a giunzione, come quelli che abbiamo descritto nel paragrafo 14 del capitolo «La fisica quantistica», bensì transistori MOS (*Metal-Oxide-Semiconductor*). Le tecnologie di fabbricazione sono, tuttavia, analoghe.

Grazie ai circuiti integrati non è più necessario realizzare separatamente i singoli componenti (resistori, condensatori, transistori, diodi), incapsularli uno a uno e montarli poi in un circuito: tutti gli elementi di un circuito complesso (comprese le connessioni) sono realizzati direttamente su un'unica piastrina sottile di silicio.

Nella **figura 1** si vede una piastra di silicio con piste metalliche per circuiti integrati.

La costruzione di un circuito integrato inizia da una barra monocristallina di silicio purissimo, larga una decina di centimetri, dalla quale si tagliano lastrine sottili, dette *wafer*.

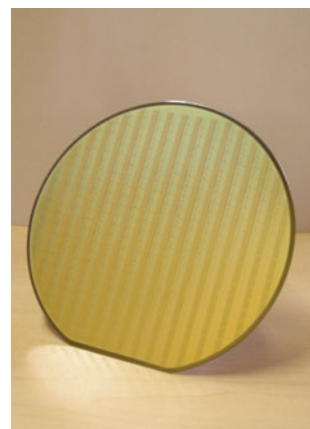
Dopo aver creato uno strato superficiale di ossido di silicio, si ricopre il wafer con un preparato apposito, chiamato *fotoresist*, e gli si sovrappone una maschera, ottenuta fotograficamente da un disegno ingrandito del circuito da realizzare (**figura 2**).



La maschera seleziona le porzioni del wafer che devono essere drogate: infatti il wafer così modificato è esposto ai raggi ultravioletti, che modificano il fotoresist nelle zone non protette dalla maschera, rendendolo duro e resistente agli acidi. Il fotoresist non esposto può essere tolto facilmente, prima di esporre il wafer ad acido fluoridrico.

Nelle zone non protette dal fotoresist, l'acido asporta l'ossido e il silicio sottostante e è pronto a ricevere i droganti e a essere nuovamente ossidato. L'intero processo si ripete più volte con altre maschere, fino al completamento di tutti gli strati necessari. Al termine del processo si ricopre la lastrina con uno strato di alluminio e, con un altro attacco chimico selettivo, si realizzano le connessioni elettriche.

**Figura 1** Lastrina di silicio con piste metalliche.



**Figura 2** Schema di una fase della realizzazione di un circuito integrato.

### Numero di transistori

Il primo microprocessore, l'Intel 4004, introdotto nel 1971, conteneva 2300 transistori. 40 anni dopo esistono processori multi core con più di un miliardo di transistori.

Da un wafer, che ha uno spessore di alcuni decimi di millimetro, si ottengono così centinaia di *chip*, ciascuno dei quali può contenere milioni di transistori.

Le tappe di questo processo possono distinguersi sulla base del numero di transistori integrati in ogni singolo chip: integrazione su piccola scala (dal 1960 al 1965 circa, fino a 20 transistori), integrazione su scala media (fino all'inizio degli anni '70, con un massimo di circa 200 transistori), integrazione su larga scala (fino a più di 200 000 transistori, dal 1970 al 1980 circa), integrazione su larghissima scala, con milioni di transistori, fino ai giorni attuali (oltre ai 100 milioni di transistori, integrazione su scala ultra-grande).

L'esperienza mostra che lo sviluppo dei circuiti integrati ha seguito la *legge di Moore*, secondo cui il numero di transistori presenti in un microprocessore raddoppia ogni 18 mesi.

## Calcolatori digitali

Un calcolatore (in inglese «computer») manipola dati scritti in forma binaria, cioè come sequenze delle due cifre 0 e 1 (dette in inglese «bit»).

Queste manipolazioni sono eseguite secondo una lista predeterminata di operazioni, che il *microprocessore*, il cuore del calcolatore, riceve in un codice binario ottenuto da istruzioni scritte inizialmente in un linguaggio «evoluto». Come le informazioni, anche le istruzioni sono rappresentate nei circuiti del microprocessore in forma binaria. Fisicamente, l'informazione binaria elementare è realizzata dal passaggio (1) o dal non passaggio (0) di una minuscola corrente elettrica in un transistor. In un microprocessore i transistori funzionano come interruttori comandabili a volontà, con un segnale applicato alla base, e non come amplificatori di corrente elettrica.

La potenza di un microprocessore è determinata dal numero di transistori e dalla rapidità con cui essi si accendono e si spengono. Proprio la necessità di mettere a disposizione degli utenti calcolatori sempre più potenti ha determinato lo straordinario sviluppo dei circuiti integrati.

I calcolatori personali («personal computer» o PC in inglese) sono un'icona del nostro tempo e molti pensano soltanto a questi, e alle *console* da gioco, quando si parla di calcolatori. In realtà sono molto più numerosi i calcolatori detti *embedded*, in quanto sono «incorporati» in oggetti di uso comune e in tutti i macchinari sofisticati permettendo prestazioni non altrimenti ottenibili. Esempi tipici sono i giocattoli, i telefoni cellulari, gli elettrodomestici, le macchine fotografiche digitali, le automobili e gli aerei.

## Calcolatori quantistici

Nei miliardi di calcolatori prodotti ogni anno i dati sono rappresentati con le due cifre (in inglese «bit») 0 e 1. Questi bit sono realizzati dagli stati stabili di un insieme di transistori, che sono sistemi fisici *macroscopici*. Invece nei calcolatori quantistici si utilizzano le proprietà quantistiche di sistemi *microscopici* quali gli atomi dotati di spin.

Per esempio, un atomo di spin  $1/2$  ha due possibili orientamenti rispetto a una direzione qualsiasi: parallelo o antiparallelo. Secondo la teoria quantistica l'atomo, essendo un sistema microscopico, può essere preparato in uno stato misto, sovrapposizione dei due stati: quello «parallelo», che può essere interpretato come bit 1, e quello antiparallelo, interpretato come bit 0. Un «quantum bit» (o «qubit») è una sovrapposizione quantistica degli stati 1 e 0:

esso contiene molta più informazione di un bit classico, che assume *soltanto* i valori 1 oppure 0.

Se pure non facilmente, è possibile far evolvere un qubit agendo dall'esterno, analogamente a quanto si fa accendendo un transistor di un calcolatore digitale per farlo passare dal bit 0 al bit 1.

Le tecniche di manipolazione dei qubit sono ancora primitive, ma la ricchezza di informazioni racchiusa in pochi qubit permetterà di risolvere alcuni problemi molto difficili per i calcolatori digitali. Il più importante si incontra in crittografia e riguarda la fattorizzazione di numeri che hanno un numero enorme di cifre.

## ESERCIZI

### DOMANDE SUI CONCETTI

- 1 Nel tuo appartamento individua gli oggetti che verosimilmente contengono calcolatori *embedded*.
- 2 Secondo la legge di Moore, di che fattore aumenta, in sei anni, il numero di transistori presenti in un microprocessore?

### QUESITI PER L'ESAME DI STATO

**Rispondi al quesito in un massimo di 10 righe**

- 3 Illustra il procedimento di realizzazione di un circuito integrato, spiegando i vantaggi di tale tecnologia.