

INTRODUZIONE

Nel corso degli anni la storia della tecnologia del computer ha visto una sequenza di variazioni da un tipo di realizzazione fisica all'altra verso una possibile miniaturizzazione sempre più spinta dei computer: si è passati dagli ingranaggi, ai relays, alle valvole, ai transistor, ai circuiti integrati.

Attualmente, le tecniche litografiche permettono di realizzare direttamente sul silicio dispositivi di dimensioni di poche centinaia di nanometri. Se questi chip vengono ulteriormente miniaturizzati fino a diventare dell'ordine delle decine di nanometri, la loro funzionalità viene a dipendere da nuovi fenomeni quantistici. A questo punto gli scienziati hanno visto la possibilità di sfruttare proprio questi effetti quantistici per costruire una nuova generazione di computer: i computer quantistici.

Alla base dei computer quantistici vi è la possibilità di usare un nuovo bit quantistico (qubit), che possa trovarsi in uno stato di sovrapposizione di due stati di base, $|0\rangle$ e $|1\rangle$.

Se da un punto di vista teorico c'è stata una fiorente attività nella ricerca di modelli astratti che simulassero efficientemente un bit quantistico, ossia un sistema a due livelli che possa essere posto in una sovrapposizione di stati, da un punto di vista sperimentale si sta ancora cercando il sistema più adatto per realizzare un qubit. Sono stati proposti e realizzati vari tipi di qubit quali ioni in trappole elettromagnetiche, singole molecole lette con NMR ma i dispositivi a stato solido sembrano essere i più interessanti poiché sono scalabili e possono essere facilmente inseriti in circuiti elettronici.

In questo lavoro di tesi si è studiata la possibilità di realizzare un sistema integrato qubit a stati di flusso e lettore utilizzando interferometri superconduttori (SQUID ossia Superconducting Quantum Interference Devices).

I qubit a stati di flusso sono basati sulle proprietà delle giunzioni Josephson e degli anelli superconduttori. Il punto di partenza è un rf-SQUID, un anello superconduttore con una giunzione Josephson; al dispositivo viene inviato, attraverso un' induttanza, un campo magnetico che genera flusso nell'anello e si legge il flusso di risposta. Se il valore della polarizzazione è metà del quanto di flusso ($\Phi_0 = h/2e$), il dispositivo è descritto da una doppia buca di potenziale simmetrica nella coordinata del flusso, con altezza della barriera determinata dall'induttanza L dell'anello e dalla corrente critica I_0 della giunzione. Gli stati computazionali $|L\rangle$ e $|R\rangle$ del sistema corrispondono a correnti di schermo circolanti in senso orario e antiorario rispettivamente. Deviazioni da $\frac{\Phi_0}{2}$

nel flusso di polarizzazione producono una variazione nella forma del potenziale che in certi limiti può anche essere usata per implementare operazioni logiche sul qubit. Per guadagnare flessibilità nel manipolare il potenziale, la giunzione Josephson viene sostituita con uno SQUID a due giunzioni (dc-SQUID) che si comporta come una giunzione con corrente critica modulabile; con questo controllo ulteriore si può agire dall'esterno sull'altezza della barriera. Tale dispositivo viene chiamato doppio-SQUID e viene letto tramite dispositivi Josephson (interferometri o giunzioni).

Il sistema integrato di SQUID in Nb/AlOx/Nb, è stato sviluppato in Istituto. I chip sono stati fabbricati presso la camera pulita dell'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie, C.N.R. mediante litografia ottica e deposizione di film sottili; alcuni chip sono stati fabbricati su nostro disegno dalla società HYPRES Inc. (USA).

Il capitolo 1 passa in rassegna la differenza tra computazione classica e quantistica illustrando, in linea di principio, il concetto di misura, di parallelismo quantistico e quantum gate; vengono inoltre date le specifiche per effettuare computazione quantistica.

Il capitolo 2 illustra la caratterizzazione dei dispositivi che ho eseguito, alla temperatura di 4.2K, per valutare i parametri fabbricativi (corrente critica, resistenza, qualità

superconduttrici delle giunzioni Josephson, induttanza degli anelli) e le caratteristiche di trasporto (curve I-V, I- Φ).

Il capitolo 3, invece, mostra come è possibile implementare un qubit utilizzando un doppio SQUID. Le particolari proprietà di questo dispositivo permettono di poter manipolare il potenziale (inclinazione e variazione dell'altezza della barriera) interamente tramite flussi magnetici. In particolare, la possibilità di variare l'altezza della barriera tramite un flusso di controllo è una caratteristica specifica del nostro qubit che lo rende unico nel panorama scientifico. Tutti gli altri qubit finora utilizzati richiedono l'applicazione di impulsi a μ -onde per effettuare le manipolazioni. Utilizzando questa tecnica, però, risulta difficile distinguere se i picchi presenti nello spettro d'eccitazione di un interferometro a due giunzioni, al di sopra della sua temperatura di cross-over, siano imputabili a effetti quantistici o a eccitazioni puramente classiche (*M.Cirillo, 2005* allegato in appendice B).

Per la lettura vengono proposti due schemi alternativi:

- un dc isteretico induttivamente accoppiato al qubit (lettura indiretta);
- giunzione Josephson di lettura inserita nell'anello grande (lettura diretta).

Entrambi i dispositivi di lettura operano come comparatori capace di distinguere soltanto se il qubit si trova nello stati $|L\rangle$ o $|R\rangle$ e vengono anche usati per tracciare le caratteristiche del qubit. Sul sistema a lettura diretta ho effettuato test preliminari di preparazione, manipolazione e lettura. Sul sistema a lettura indiretta ho collaborato alle misure di caratterizzazione del dc-SQUID isteretico da 4.2K a 100mK per verificare la sua capacità di utilizzo come lettore. I dati sperimentali sono stati raccolti e analizzati utilizzando programmi in ambiente Lab-View.

Il capitolo 4, invece, illustra le tecniche di fabbricazione e i disegni costruttivi. Il mio contributo, in questo caso, è stato quello di seguire la progettazione di nuove maschere che poi sono state utilizzate per realizzare i dispositivi che implementano il qubit e il lettore (tali disegni sono anche stati inviati all'HYPRES inc.) e di ottimizzare tutte le tecniche e la messa a punto dei processi di produzione dei dispositivi.