

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi è stata studiata la possibilità di implementare un qubit e un sistema integrato di lettura utilizzando dispositivi basati su effetti Josephson.

La fase di progettazione e l'ottimizzazione del processo di fabbricazione si è conclusa con la realizzazione di un certo numero di dispositivi che comprendono il qubit (doppio SQUID), il lettore e un certo numero di dispositivi modulari in cui vengono accoppiati prima due e poi quattro qubit in serie per avere un registro quantistico.

Dapprima sono stati studiate a 4.2 K le giunzioni Josephson, costituenti basilari di tutti i dispositivi, valutando i principali parametri quali corrente critica e qualità superconduttrici tramite misure di trasporto e di escape. Poi si è passati alla caratterizzazione dei dispositivi mediante caratteristiche I-V e I- Φ .

E' stato mostrato sperimentalmente come un doppio SQUID può realizzare un qubit a stati di flusso completamente controllabile dall'esterno, inviando flussi magnetici alle bobine di controllo.

E' stata, quindi, messa a punto una strategia che consente di preparare il qubit in uno dei due stati, manipolarlo e infine leggere lo stato. Polarizzando la bobina associata all'anello principale, con un impulso di durata fissata, è possibile sbilanciare il sistema a favore di una delle due buche e preparare così il qubit in uno dei due stati possibili. Invece, inviando impulsi alla bobina accoppiata al dc-SQUID interno all'anello principale, si può agire sull'altezza della barriera e permettere, per un tempo Δt fissato, la libera evoluzione del qubit tra i due stati di flusso e avere così la possibilità di realizzare operazioni logiche. Quando la barriera diventa sufficientemente bassa e in

regime incoerente (4.2K) la probabilità di trovare il sistema in una delle due buche, avendolo inizialmente preparato in uno dei due stati, tende ad un valore di equilibrio, teoricamente pari al 50%; noi abbiamo ottenuto tale valore variando sia la durata dell'impulso veloce che la sua ampiezza. Dalle curve sperimentali è possibile stimare, utilizzando un fit esponenziale, i tempi di rilassamento tipici del nostro sistema che variano dai 500ns (barriera alta) a 40ns (barriera bassa). In regime quantistico queste misure, ripetute alla $T \cong 10\text{mK}$, dovrebbero permettere l'osservazione delle oscillazioni coerenti della funzione d'onda tra le due buche.

Il sistema integrato di lettura può essere svolto indifferentemente o da un dc isteretico o da una giunzione Josephson che interrompe l'anello grande. Il secondo sistema, a lettura diretta, ha il vantaggio di avere un disegno molto più semplice e compatto, e di essere più efficiente nella lettura. In entrambi i casi abbiamo elaborato una tecnica che consente di usare i due sistemi di lettura come rivelatori a soglia osservando per quali valori di corrente o flusso di polarizzazione si ha la transizione dallo stato superconduttore. In regime quantistico la curva sperimentale di probabilità, ha una larghezza tale da permettere una misura one-shot del segnale in flusso proveniente dal qubit e leggere così se il qubit si trova nello stato $|L\rangle$ o $|R\rangle$.

Questi risultati hanno portato alla pubblicazione degli articoli allegati in appendice A.

❖ Sviluppi futuri

Attualmente è in corso, presso il Kammerlingh-Onnes Laboratory dell'Università di Leiden un test a bassissima temperatura (10mK) per la verifica della coerenza quantistica, l'osservazione delle oscillazioni di Rabi nel doppio SQUID e la misura del tempo di decoerenza.

Verificate le proprietà quantistiche dei dispositivi, il passo successivo sarà di mettere in comunicazione due qubit, dando vita ad una prima sperimentazione di sistemi computazionali basati su SQUID. Secondo le specifiche del qubit, le manipolazioni necessitano di impulsi di breve durata (dell'ordine del ns). La logica RSFQ (Rapid Single Flux Quantum logic) sembra essere una delle soluzioni più promettente poiché

ha il vantaggio di essere compatibile col processo di fabbricazione del qubit e di poter operare a temperature del mK come il qubit. Tale logica RSFQ è basata sulla propagazione controllata di quanti di flusso magnetico, in tempi dell'ordine del ps, in circuiti contenenti giunzioni Josephson. Attualmente il nostro gruppo di ricerca è coinvolto in un progetto europeo chiamato RSFQubit il cui obiettivo è:

- unire la tecnologia RSFQ per l'elettronica digitale e qubit basati su giunzioni Josephson;
- permettere il controllo su chip delle operazioni di manipolazione e di lettura degli stati computazionali che devono essere fatte il più vicino possibile al qubit per minimizzare i tempi di ritardo dei cavi che collegano il qubit, a temperatura di qualche mK, con l'elettronica a 300K;
- sviluppare un sistema completo di elaborazione dell'informazione quantistica.