



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” e Dipartimento di Matematica

in convenzione con

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA "LUIGI VANVITELLI"

Dipartimento di Matematica e Fisica

Dottorato di Ricerca “Matematica, Fisica e Applicazioni” Curriculum Fisica
XXX Ciclo

Tesi Di Dottorato

Electrical and thermal transport properties of superconducting materials relevant for applications

Candidato

Francesco Avitabile

Tutor

Prof. Angela Nigro

Co-tutors

Dr. Gaia Grimaldi

Dr. Antonio Leo

Coordinator

Prof. Roberto Scarpa

A. A. 2017/2018

Abstract

Superconducting materials are used in several applications among which the large-scale ones take advantage of the high energy transport capabilities of superconductors due to the low losses in electrical conduction. From a practical point of view, it is necessary to achieve the highest possible current density values without dissipation, thus the critical current density J_c has to be increased. Indeed, once the biasing current density increases above the critical value, the transition of the material to the normal state, referred also as a quench event, can be observed. Often this transition is not gradual. Thus, an important feature to consider is the voltage stability under current biasing in the dissipative regime. In particular, if the Flux-Flow Instability (FFI) phenomenon is triggered, the transition in the current-voltage (I-V) results in a sudden voltage jump.

Electrical and thermal stability is strictly demanding in order to avoid quench phenomena or to adopt protection strategies. In a quench phenomenon, once a normal zone has started to grow, it will continue to expand under the combined actions of heat conduction and ohmic heating at a constant velocity referred as normal zone propagation velocity (NZPV). Thus, NZPV evaluation plays a key role in the protection strategies against quench-induced damages. NZPV depends mainly on electrical and thermal properties of the various components of the technical superconductor, which is made in composite form, containing both superconducting, conducting and insulating materials. Heat transfer through the conductor is the main channel for removing heat from the superconducting medium and, consequently, preventing a quench.

In this work it is reported the study of the electrical transport properties of superconducting materials relevant for applications. In particular, it has been focused on pinning properties and voltage stability of superconducting materials and on electrical and thermal characterization of technical superconductors. Electrical characterization of Fe(Se,Te) thin films grown on CaF₂ substrate has been performed in order to investigate the pinning properties and the voltage stability aspects in view of tapes manufacturing. Electrical and thermal properties of Bi-2212 technical superconductors have been investigated, in order to obtain information about the key factors for the quench analysis, i.e. electrical and thermal conductances.

Regardless of the superconducting material, an accurate study based on avoiding quench by means of a deep investigation of electrical and thermal transport properties becomes relevant for applications.

Abstract in Italiano

I materiali superconduttivi sono utilizzati in diverse applicazioni, tra cui quelle su larga scala che sfruttano le capacità di trasporto ad alta energia dei superconduttori grazie alle basse perdite nella conduzione elettrica. Da un punto di vista pratico, è necessario raggiungere i valori di densità di corrente senza dissipazione più alti possibili, pertanto è necessario aumentare la densità di corrente critica J_c . Infatti, una volta che la densità di corrente di alimentazione aumenta al di sopra del valore critico, si può osservare la transizione del materiale allo stato normale, che viene anche detto quench. Spesso questa transizione non è graduale. Pertanto, una caratteristica importante da considerare è la stabilità elettrica quando viene fornita una corrente di alimentazione nel regime dissipativo. In particolare, se viene attivato il fenomeno Flux-Flow Instability (FFI), la transizione viene vista come un improvviso salto di tensione nella caratteristica corrente-tensione (I-V).

La stabilità elettrica e termica sono strettamente richieste per evitare fenomeni di quench o per adottare strategie di protezione. In un fenomeno di quench, una volta che una zona normale ha iniziato a crescere, continuerà ad espandersi sotto le azioni combinate della conduzione del calore e del riscaldamento ohmico a una velocità costante detta velocità di propagazione della zona normale (NZPV, normal zone propagation velocity). Pertanto, la stima della NZPV è importante nelle strategie di protezione contro i danni indotti dal quench. La NZPV dipende principalmente dalle proprietà elettriche e termiche dei vari componenti del superconduttore tecnico, che è realizzato in una forma composita, contenente sia materiali superconduttivi, sia conduttori sia isolanti. Il trasferimento di calore attraverso il conduttore è il canale principale per la rimozione del calore dal mezzo superconduttivo e, di conseguenza, impedisce il quench.

In questo lavoro si presenta lo studio delle proprietà di trasporto elettrico di materiali superconduttori rilevanti per le applicazioni. In particolare, tale studio è stato incentrato sulle proprietà delle forze di pinning, sulla stabilità elettrica dei materiali superconduttivi e sulla caratterizzazione elettrica e termica dei superconduttori tecnici. La caratterizzazione elettrica dei film sottili Fe (Se, Te) cresciuti su substrato di CaF_2 è stata effettuata al fine di studiare le proprietà di pinning e gli aspetti della stabilità elettrica nell'ottica della produzione di nastri. Sono state studiate le proprietà elettriche e termiche dei superconduttori tecnici a base di Bi-2212 al fine di ottenere informazioni sui fattori chiave per l'analisi del quench, cioè le conducibilità elettriche e termiche.

Indipendentemente dal materiale superconduttivo, uno studio accurato basato sull'evitare fenomeni di quench mediante un'analisi approfondita delle proprietà di trasporto elettrico e termico diventa rilevante nell'ottica delle applicazioni.