

Diss. ETH No. 9046

SUPERCONDUCTING PROXIMITY EFFECT BETWEEN SILVER AND NIOBIUM

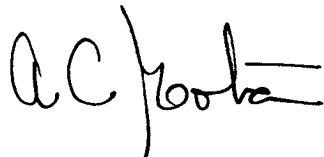
A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
PIERO VISANI
Dottore in Fisica
Università degli Studi di Milano
born on the 5th October 1958
citizen of Vacallo (Ticino)

accepted on the recommendation of
PD Dr. A. C. Mota, examiner
Prof. Dr. J. L. Olsen, co-examiner
Prof. Dr. T. M. Rice, co-examiner

1990

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'A.C. Mota', with a horizontal line at the end.

ABSTRACT

The magnetic properties of the proximity effect induced superconductivity in very pure thick silver (3-30 μm) in contact with niobium, have been investigated in the temperature range $5 \times 10^{-4} T_{\text{CNS}} < T < T_{\text{CNS}}$. Here T_{CNS} is the transition temperature of the proximity system and in all the specimens studied in this thesis T_{CNS} is equal to T_{CS} , the transition temperature of the superconductor S (Nb), since the condition $\xi_{0S} \ll d_S$ is always fulfilled, where ξ_{0S} is the coherence length in S at $T = 0$.

By means of very high precision measurements of the ac susceptibility and of dc magnetization curves using SQUIDs as detectors, we have been able to determine the value of the screening distance ρ in N as a function of temperature. All the samples have shown a power law behaviour of the type $\rho \propto T^{-n}$ with n ranging from $1.2 < n < 2.3$.

Special interest was presented by the region where for each sample the superconductivity extended to the whole thickness of the normal metal d_N and where the Ginzburg-Landau parameter $\kappa_N = \lambda_N(x) / K_N^{-1}$ was everywhere smaller than unity. Here $\lambda_N(x)$ is the local value of the penetration depth and K_N^{-1} the Cooper pair penetration length. In this region we have observed a first order transition at the breakdown field H_b showing hysteretic effects, i.e. superheating and supercooling, and have determined their dependences on the temperature and sample dimensions.

We have found that the characteristic temperature T^* , defined as the lowest temperature where the supercooled and superheated field are equal, depends strongly on the normal metal thickness d_N , given by $T^* d_N = \text{constant}$.

By means of dc magnetization curves, the spatial dependence of the local critical fields $H_c(x)$ has, for the first time, been determined in proximity induced superconducting silver.

From the analysis of this type of data we have been able to derive the expression for the induced order parameter $\Delta_N(x)$ in the normal metal region N as:

$$\Delta_N(x) = \Delta_N(0) \frac{x_0}{x + x_0} \exp(-K_N x)$$

for $x \ll K_N^{-1}$ and temperatures $T_{CN} \ll T \ll T_{CNS}$, where $\Delta_N(x) > k_B T$ is valid everywhere in the normal metal.

A novel reentrant behaviour of the ac susceptibility has been measured in these proximity samples. Our preliminary results indicate the existence of an unexpected form of coherent effect, which is strongly size dependent and could only be detected using a phase sensitive technique. From our experiments we have been able to discover the following properties:

i) The temperature $T = T_{\min}$ below which the reentrant effect takes place depends on the thickness of the normal metal d_N as :

$$T_{\min} \propto d_N^{-1.5}$$

ii) The quantity $\Delta\chi' = \chi'(T) - \chi'(T_{\min})$ increases exponentially by lowering the temperature below T_{\min} :

$$\Delta\chi' = A \exp\left(-\frac{T}{T^\circ}\right)$$

iii) The characteristic temperature of this phenomenon T° also depends strongly on sample dimensions like:

$$T^\circ L \approx \text{constant}$$

where L is the external perimeter of the sample.

iv) The reentrant behaviour is depressed by an external dc magnetic field. The field needed to bring back the susceptibility to the value $\chi'(T_{\min})$ is practically inversely proportional to the sample circumference L .

ZUSAMMENFASSUNG

Die magnetischen Eigenschaften der durch den Proximity-Effekt induzierten Supraleitung in sehr reinem dickem Silber (3-30 μm) in Kontakt mit Niob sind im Temperaturbereich $5 \times 10^{-4} T_{\text{CNS}} < T < T_{\text{CNS}}$ untersucht worden. Dabei ist T_{CNS} die Uebergangstemperatur des Proximity-Systems, und bei allen in dieser Arbeit studierten Proben ist T_{CNS} gleich T_{CS} , der Uebergangstemperatur des Supraleiters S (Nb), denn die Bedingung $\xi_{0\text{S}} \ll d_{\text{S}}$ ist immer erfüllt, wobei $\xi_{0\text{S}}$ die Kohärenzlänge in S bei $T = 0$ ist.

Durch sehr genaue Messungen der AC Suszeptibilität und von DC Magnetisierungskurven mit Hilfe von SQUIDs als Detektoren konnten wir den Wert der Abschirmlänge ρ im Normalmetall N als Funktion der Temperatur bestimmen. Alle Proben haben ein Potenz-Gesetz Verhalten der Art $\rho \propto T^n$ aufgewiesen, wobei n zwischen 1.2 und 2.3 liegt.

Von grosser Bedeutung war das Gebiet, wo die Supraleitung bei jeder Probe sich auf die ganze Dicke d_{N} des Normalmetalls verbreitete und der Ginzburg-Landau Parameter $\kappa_{\text{N}} = \lambda_{\text{N}}(x) / K_{\text{N}}^{-1}$ überall kleiner als Eins war. Dabei ist $\lambda_{\text{N}}(x)$ der lokale Wert der Eindringtiefe und K_{N}^{-1} die Eindringlänge der Cooper Paare. In diesem Gebiet haben wir einen Uebergang erster Ordnung bei dem "breakdown field" H_{b} beobachtet, der hysteretische Effekte aufweist, d. h. Ueberhitzung und Unterkühlung, und wir haben ihre Abhängigkeiten von der Temperatur und den Probenabmessungen bestimmt. Wir haben erhalten, dass die charakteristische Temperatur T^* , die als die tiefste Temperatur, bei der überhitztes und unterkühltes Feld gleich sind, definiert ist, von der Dicke d_{N} des Normalmetalls stark abhängt, indem sie einem Gesetz der Art $T^* d_{\text{N}} = \text{konstant}$ genügt.

Durch DC Magnetisierungskurven ist die räumliche Abhängigkeit der lokalen kritischen Felder $H_{\text{c}}(x)$ in Proximity-induziert supraleitendem Silber zum ersten Mal bestimmt worden.

Aus der Analyse dieser Daten haben wir den Verlauf des induzierten Ordnungsparameters $\Delta_{\text{N}}(x)$ im Normalmetall N ableiten können:

$$\Delta_N(x) = \Delta_N(0) \frac{x_0}{x + x_0} \exp(-K_N x)$$

für $x \ll K_N^{-1}$ und Temperaturen $T_{CN} \ll T \ll T_{CNS}$, wobei $\Delta_N(x) > k_B T$ überall im Normalmetall gilt.

Ein neuartiges "zurücktretendes" Verhalten der AC Suszeptibilität ist an diesen Proximity Proben gemessen worden. Unsere ersten Resultate zeigen das Vorhandensein eines kohärenten Effekts unerwarteter Art, der von den Probenabmessungen stark abhängt und nur mit Hilfe einer phasenempfindlichen Technik detektiert werden konnte. Aus unseren Experimenten konnten wir die folgenden Eigenschaften entdecken:

i) Die Temperatur T_{\min} , unterhalb welcher das "zurücktretende" Verhalten vorkommt, hängt von der Dicke des Normalmetalls d_N ab:

$$T_{\min} \propto d_N^{-1.5}$$

ii) Die Grösse $\Delta\chi' = \chi'(T) - \chi'(T_{\min})$ nimmt exponentiell zu beim Sinken der Temperatur unterhalb T_{\min} :

$$\Delta\chi' = A \exp\left(-\frac{T}{T^\circ}\right)$$

iii) Die charakteristische Temperatur T° dieser Erscheinung hängt auch von den Probenabmessungen stark ab:

$$T^\circ L = \text{konst.}$$

wobei L der äussere Umfang der Probe ist.

iv) Das "zurücktretende" Verhalten der AC Suszeptibilität wird von einem äusseren DC Magnetfeld vermindert. Das Feld, das notwendig ist, um die Suszeptibilität auf den Wert $\chi'(T_{\min})$ zurückzubringen, ist etwa umgekehrt proportional zum Probenumfang L .