



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101993900335812
Data Deposito	07/12/1993
Data Pubblicazione	07/06/1995

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	L		

Titolo

SUPERCONDUTTORI AD ALTA TEMPERATURA CRITICA COSTITUITI DA ETEROSTRUTTURE METALLICHE TENDENTI AL LIMITE ATOMICO.

DESCRIZIONE

di Brevetto per Invenzione Industriale

di BIANCONI Antonio, di nazionalità Italiana,

a 00186 R O M A - Via Giulia , 87

Inventore: **BIANCONI Antonio**

TO 93A000929

*** * ***

La presente invenzione è relativa a superconduttori ad alta temperatura critica costituiti da eterostrutture metalliche tendenti al limite atomico. L'invenzione è inoltre relativa ad un metodo per realizzare tali superconduttori.

E' noto che l'applicazione industriale estesa del fenomeno della superconduzione è limitata dal fatto che i metalli superconduttori attualmente disponibili sul mercato presentano temperature critiche (per temperatura critica si intende quella in corrispondenza della quale scatta il fenomeno della superconduzione, cioè dell'annullamento della resistenza elettrica del conduttore) molto basse, dell'ordine di pochi gradi Kelvin, temperature che possono essere raggiunte e mantenute solamente con bagni di elio o altri gas liquefatti e, quindi, con alti costi e notevoli complicazioni operative. La ricerca in questo campo è dunque tutta tesa a realizzare nuovi materiali superconduttori, che presentino più alte temperature critiche.

Una grossa innovazione in questo campo è costituita dai superconduttori ceramici, che presentano temperature critiche dell'ordine delle decine di gradi Kelvin. Tuttavia, questa classe di superconduttori ceramici non si presta all'applicazione industriale estesa, in quanto i materiali ceramici, al contrario di quelli metallici, sono fragili e difficilmente lavorabili per deformazione plastica. I superconduttori ceramici non si prestano perciò ad essere lavorati per trafilatura per ottenere conduttori in forma di cavi, come è necessario per le applicazioni industriali.

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

Una ulteriore difficoltà è infine costituita dal fatto che non esiste attualmente una teoria che spieghi in modo soddisfacente i fenomeni di superconduttività ad alte temperature critiche; pertanto i ricercatori sono costretti a procedere "alla cieca", senza essere in grado di correlare tra loro i risultati ottenuti su ciascun singolo materiale.

Scopo del trovato è quello di superare gli inconvenienti descritti attraverso la definizione di parametri generali di progettazione, che permettano di realizzare superconduttori metallici presentanti alte temperature critiche, per lo meno dello stesso ordine di grandezza di quelle dei superconduttori ceramici oggi noti.

In base all'invenzione viene pertanto fornito un superconduttore ad alta temperatura critica, caratterizzato dal fatto di essere costituito da una eterostruttura comprendente prime porzioni realizzate in un materiale superconduttore, le quali sono disposte a formare una schiera di elementi multipli identici a passo costante lungo almeno una prima direzione, e seconde porzioni, realizzate in un materiale differente da quello delle prime porzioni, disposte intercalate alle prime porzioni, a separazione delle stesse; le dette prime porzioni presentando dimensione e periodicità, misurata lungo la prima direzione, tale da determinare condizioni di risonanza di forma negli elettroni al livello di Fermi, mentre le seconde porzioni presentano dimensioni dell'ordine della lunghezza di coerenza di Pippard del materiale superconduttore formante le prime porzioni.

In pratica, la presente invenzione si basa sulla scoperta che la superconduttività ad alta temperatura critica è correlata ad una particolare strutturazione eterogenea del superconduttore, strutturazione che, infatti, può essere ritrovata, effettuando un processo *a posteriori*, nelle perovskiti di ossidi di rame. Tale strutturazione determina un "fattore di amplificazione" della temperatura critica rispetto a quella di un materiale superconduttore omogeneo. Pertanto, realizzando appositamente strutture eterogenee

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

includenti un qualsiasi materiale superconduttore tradizionale metallico, avente bassa temperatura critica, questa viene moltiplicata per il "fattore di amplificazione" correlato con la strutturazione adottata, fornendo un superconduttore a struttura eterogenea "ordinata" avente una temperatura critica elevata, maggiore di cinque, dieci (o più) volte quella del materiale superconduttore nello stato omogeneo.

L'invenzione è inoltre relativa ad un metodo per realizzare superconduttori ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione principale, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- preparazione di un substrato costituito da un materiale scelto nel gruppo consistente in: un metallo, una lega metallica, un non-metallo;
- formazione su detto substrato di una pluralità di elementi realizzati in un materiale superconduttore aventi lungo almeno una direzione prefissata dimensioni e distanza reciproca di valore prefissato;
- formazione, su detto substrato e sugli elementi precedentemente formati, di un nuovo substrato identico al primo fino a ricoprire i detti elementi per uno spessore compreso tra la lunghezza di coerenza di Pippard del materiale superconduttore e dieci volte la stessa; e
- ripetizione delle fasi precedenti di formazione per un numero prefissato di volte fino a creare una eterostruttura tridimensionale; le dette dimensioni e distanza reciproca venendo realizzate tali che, in detta eterostruttura, gli elettroni al livello di Fermi nel detto materiale superconduttore sono in condizioni di risonanza di forma.

In particolare, la detta eterostruttura è ottenuta mediante epitassia a fascio molecolare.

Un altro metodo adatto per realizzare superconduttori ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione principale, ma più semplice, consiste nel fatto di creare una

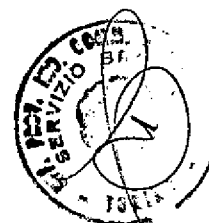
eterostruttura tridimensionale alternando primi strati consistenti in un metallo, una lega metallica, un non-metallo, con secondi strati realizzati in un materiale superconduttore, i detti strati essendo realizzati con spessori prefissati e tali che, nella eterostruttura, gli elettroni al livello di Fermi nel detto materiale superconduttore sono in condizioni di risonanza.

La presente invenzione sarà ora descritta in base ad alcuni esempi di attuazione non limitativi e con riferimento alle figure dei disegni annessi, nei quali:

- la figura 1 illustra schematicamente, in modo pittorico, un piano di ossido di rame CuO_2 in un superconduttore ceramico $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ (Bi2212);
- la figura 2 illustra schematicamente la struttura di un superconduttore ad alta temperatura critica realizzato secondo l'invenzione;
- la figura 3 illustra fuori scala, in modo puramente esemplificativo, l'andamento della densità degli stati elettronici in un superconduttore secondo l'invenzione;
- le figure da 4 a 7 illustrano diverse forme di realizzazione del superconduttore secondo l'invenzione; e
- la figura 8 illustra fuori scala, schematicamente ed in modo solo esemplificativo, un metodo di ottenimento per il superconduttore dell'invenzione.

In buona sostanza, la presente invenzione si basa su una intuizione, e cioè che sia possibile innalzare la temperatura critica di una sostanza (metallo puro, ossido o lega) superconduttrice realizzando un confinamento quantico degli elettroni al livello di Fermi, ossia degli elettroni di conduzione del superconduttore, in un superreticolo di bande/films quantici opportunamente costruito. Una proposta simile (innalzamento della temperatura critica per confinamento quantico in un film) era già stata presentata alla Comunità scientifica [J.M.Blatt et al. -Phys.Rev.Lett. 10,332 (1963); C.J.Thompson et al. Phys.lett. 5,6 (1963)], ma era stata fortemente avversata e alla fine scartata come er-

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)



rata, e dimenticata, in quanto, nel caso di confinamento quantico in un singolo film o banda, si verificano effetti di soppressione della temperatura critica (T_c) dovuti ad effetti di prossimità e fluttuazioni.

Il Richiedente ha ora diretto i suoi studi verso la possibilità di innalzare la T_c con il confinamento quantico utilizzando per il riscontro sperimentale superconduttori ceramici della famiglia Bi2212 (perovskiti di ossidi di rame, di formula bruta: $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$). Che in tali superconduttori il piano dell'ossido di rame non fosse omogeneo era noto [A.Bianconi et al. in "Lattice effects in High- T_c superconductors" edited by Y.Bar-Yam et al. Word Scientific Publ.,Singapore, 1992, pag.65 e A.Bianconi in "Phase separation in cuprate superconductors" edited by K.A.Müller & G.Benedek, Word Scientific Publ.,Singapore, 1993, pag. 125]; in particolare, si sapeva che esistevano domini in cui il legame apicale Cu-O era di due dimensioni differenti. Il Richiedente ha dimostrato che la struttura del piano di ossido di rame in Bi2212 è quella di figura 1, in cui esistono una pluralità di bande di larghezza W , dette barriere, formate da reticoli di ossido di rame distorti, in cui il legame apicale Cu-O è quello più corto ($< 2,4 \text{ \AA}$), intercalate con passo (periodo) costante λ_p da bande di larghezza L , in cui il legame apicale Cu-O è quello lungo ($> 2,4 \text{ \AA}$).

La larghezza L delle bande è stata calcolata mediante misurazione del rapporto tra il numero di legami apicali lunghi ed il numero totale dei legami Cu-O, ottenuta con tecniche EXAFS secondo quanto descritto da A.Bianconi in "X-ray Absorption: Principle, applications techniques of EXAFS, SEXAFS and XAVES" edited by R.Printz & D.Koningsberger, JWiley and Sons, NewYork 1988, il cui contenuto è qui incorporato per riferimento per le parti necessarie; il periodo λ_p è stato invece misurato lungo la direzione y mediante diffrazione elettronica; è stata inoltre misurata con la fotoemissione [secondo Z.X.Shen, J.Phys.Chem.Solids 53, 19583 (1992)] la

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

componente del vettore d'onda di Fermi nella direzione y (k_{Fy}). Le misurazioni, effettuate su un monocristallo a singola fase di $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ (Bi2212) ottenuto secondo il metodo della "floating zone", avente $T_c=84^\circ\text{K}$, hanno fornito un periodo di modulazione $\lambda_p=4,65a$ (a =costante reticolare= $5,4 \text{ \AA}$), una larghezza $L=2,7a$ ed una componente del vettore d'onda di Fermi $k_{Fy}=0,4(\pm 0,03)(2\pi/a)$. La dimensione trasversale W delle strisce loco dei reticoli di ossido distorti è stata trovata pari a circa $2a$. I dati sopra esposti sono stati verificati su diversi superconduttori Bi2212 a diverso livello di drogaggio, costituito dal contenuto di Y e sono stati confermati; le prove sperimentali hanno anche dimostrato che la larghezza W si può assumere come drogaggio-indipendente, in quanto è legata alla instabilità reticolare alla densità critica δ_c [W.E.Pickett et al., Phys.Rev.Lett., **62**,2751(1989)].

Gli elettroni che si muovono nella direzione y , di conseguenza, risultano intrappolati nelle bande di dimensione L in condizioni di risonanza di forma, tra le barriere di dimensione W , formando così un superreticolo definito dalle bande di larghezza L e periodo λ_p .

Più in generale, facendo riferimento alla figura 3 ove la linea tratteggiata indica la curva Densità/energia normale per un materiale superconduttore e la linea continua è la medesima curva come si modifica nella eterostruttura di figura 1, per condizioni di risonanza si intende lo stato fisico ove gli elettroni all'energia di Fermi si trovano ad una condizione ove $(\partial E/\partial K)$ in almeno una direzione tende a zero (ove E è l'energia e K il vettore d'onda) a causa del confinamento nel superreticolo. Pertanto, la densità degli stati elettronici del materiale omogeneo è modificata e mostra dei picchi alle energie E_n (ove n =numero delle risonanze). Per condizione di "risonanza di forma" si intende poi lo stato quantico ove l'energia di Fermi del metallo superconduttore corrisponde ad un massimo E_n creato con la superstruttura del metallo superconduttore,

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

come in figura 3.

Tenendo conto che, secondo la teoria standard della superconduzione metallica (teoria BCS) la temperatura critica di un superconduttore è espressa dalla formula:

$$(1) \quad T_c \approx \omega_D \exp(-1/N_0V)$$

in cui ω_D per un superconduttore omogeneo di ossido di rame è nota e vale circa 500 Kelvin, ed in cui il prodotto della densità degli stati all'energia di Fermi, N_0 , e della costante di accoppiamento elettrone/fonone, V , è pure noto e vale circa 0,2, la temperatura critica T_c per un superconduttore omogeneo CuO_2 si può calcolare pari a circa 7°K, si può ipotizzare che nelle condizioni strutturali scoperte e sopra descritte per Bi2212 la maggiore temperatura critica sia dovuta ad un condensato formato dalla parte di liquido di Fermi alle condizioni di risonanza; in questo caso è possibile applicare la soluzione dell'equazione di Thompson e Blatt ad una singola banda di larghezza L [J.M.Blatt et al. - Phys.Rev.Lett. 10,332 (1963); C.J.Thompson et al. Phys.lett. 5,6 (1963)] ed arrivare a modificare (1) nel modo seguente:

$$(2) \quad T_c = \omega_D \exp(-1/N_0V) \exp(+k/N_0V)$$

dove $\exp(+k/N_0V)$ rappresenta una "fattore di amplificazione" connesso con lo stato di confinamento quantico e che dipende da n ; nelle condizioni sperimentali evidenziate $n=2$ ($L=\lambda_F$) e il fattore k vale circa 1/3; pertanto il fattore di amplificazione vale circa 5, il che porta a calcolare una temperatura critica di circa 35°K.

Da quanto sinora descritto, il Richiedente ha dedotto che la superconduttività ad alte temperature critiche può essere ottenuta in normali superconduttori metallici, per esempio le già largamente usate leghe di niobio, purché la struttura fisica del superconduttore rispetti le particolari condizioni che si verificano per l'ossido di rame in Bi2212; ugualmente, la struttura di nuovi materiali superconduttori ad alta T_c dovrebbe riprodurre le condizioni di disomogeneità "ordinata" evidenziate per gli ossidi

PLEBANI Rinaldo
(iscrizioni Albo nr. 358)

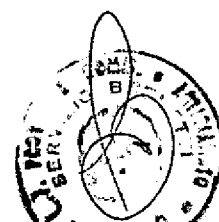
di rame in Bi2212.

Secondo l'invenzione, un superconduttore ad alta temperatura critica presenta pertanto la struttura di figura 2, in cui è schematizzato in modo pittorico un superconduttore 1 rappresentato a livello dei piani atomici, costituito da una eterostruttura metallica comprendente prime porzioni 3 realizzate in un qualsiasi materiale metallico superconduttore, le quali sono disposte a formare una schiera di elementi multipli identici a passo costante lungo almeno una direzione (nella fattispecie la direzione y), e seconde porzioni 4, realizzate in un qualsiasi materiale, purché differente da quello delle porzioni 3, disposte intercalate alle porzioni 3, a separazione delle stesse; perché una simile eterostruttura "attivi" il materiale superconduttore delle porzioni 3 determinando una amplificazione della temperatura critica propria del materiale delle bande 3 allo stato omogeneo occorre, però, che la eterostruttura descritta determini un superreticolo quantizzato, come raffigurato per gli ossidi di rame in figura 1. Questo è ottenuto, secondo l'invenzione, realizzando le porzioni 3 con una dimensione L, misurata lungo la direzione y, tale da determinare condizioni di risonanza negli elettroni al livello di Fermi, condizione che nella struttura descritta si traduce nel rispetto dell'equazione:

$$(3) \quad L \approx \frac{\lambda_F n}{2}$$

Sempre dal confronto tra le equazioni teoriche e le eterostrutture ritrovabili in Bi2212 si deduce inoltre che una seconda condizione essenziale per realizzare l'invenzione è che le porzioni 4, onde stabilizzare le condizioni di confinamento, devono presentano dimensioni W dell'ordine della lunghezza di coerenza di Pippard ξ_0 del materiale metallico superconduttore formante le porzioni 3. Per "dimensioni dell'ordine di" si deve intendere, qui e di seguito, un valore pari a $n\xi_0$, dove n è può

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)



valere da 1 a 10, cioè un valore pari o multiplo della lunghezza di coerenza ξ_0 del materiale superconduttore, ma restante nel medesimo ordine di grandezza decimale.

Scendendo nel dettaglio della forma di realizzazione illustrata in figura 2, il superconduttore ad alta temperatura critica 1 è formato da una pluralità di piani atomici 2 sovrapposti e ciascun piano 2 comprende una pluralità di bande 3 costituite da un materiale metallico superconduttore (includendo in tale definizione anche gli ossidi) presentanti, secondo (3), una larghezza L pari ad un multiplo intero della metà della lunghezza d'onda di Fermi del materiale metallico superconduttore formante le bande 3 stesse, considerato allo stato omogeneo. I piani 2 comprendono inoltre una pluralità di seconde bande 4, alternate alle 3 e costituite in un qualsiasi materiale diverso da quello delle prime bande, nella fattispecie scelto nel gruppo consistente in: un materiale metallico, una lega metallica o un non-metallo (per non-metallo si intende qualsiasi materiale non metallico, anche materia plastica). Le bande 4 hanno, in accordo con quanto precedentemente descritto, una larghezza W pari alla lunghezza di coerenza di Pippard (ξ_0) del materiale metallico superconduttore costituente le bande 3, o ad un suo multiplo; inoltre, per stabilizzare una struttura tridimensionale come quella di figura 2, occorre che anche le dimensioni in altezza, ovvero lungo la direzione z perpendicolare alla y, siano quantizzate; pertanto, i piani 2 devono essere tra loro distanziati di una altezza h sostanzialmente pari alla larghezza W delle bande 4 o ad un suo multiplo, ovvero anch'essa dell'ordine della lunghezza di coerenza ξ_0 del materiale superconduttore della bande 3, considerato allo stato omogeneo.

Per il superconduttore 1, avente la struttura di figura 2, è inoltre applicabile la formula (2), per cui è possibile di esso predire la temperatura critica, una volta noto il materiale con cui realizzare le bande 3; in altre parole, è possibile a priori realizzare un materiale superconduttore di temperatura critica desiderata, semplicemente scegliendo

opportunamente il materiale superconduttore omogeneo con cui creare le bande 3 e dimensioni compatibili per il superreticolo definente la eterostruttura di figura 2 con un certo livello di risonanza prescelto. Tanto più basso è il livello di risonanza prescelto ($n=1$) tanto maggiore sarà il fattore di amplificazione della temperatura critica del materiale superconduttore omogeneo con cui si realizzano le bande 3. Inoltre, è evidente che essendo il fattore di amplificazione un fattore che tende ad annullare $\exp(-1/NoV)$, la temperatura critica ottenibile dal materiale 1 sarà tanto più alta quanto maggiore è il valore del parametro ω_D legato al materiale prescelto per le bande 3.

Con riferimento alla figura 4, in essa è illustrato un superconduttore ad alta temperatura critica 10 avente una struttura diversa da quella di figura 2, ma sempre rispettante i parametri dell'invenzione; in particolare esso è formato da una pluralità di primi e secondi strati 11 e 12 disposti tra loro alternati e sovrapposti; gli strati 11 sono costituiti da un qualsiasi materiale superconduttore, e presentano uno spessore L prefissato, mentre gli strati 12 presentano uno spessore W pure prefissato, e sono costituiti da un qualsiasi materiale, purché diverso da quello degli strati 11.

Con riferimento alla figura 5, è illustrato schematicamente un terzo esempio di realizzazione 20 di un superconduttore ad alta temperatura critica secondo l'invenzione; il superconduttore 20 è formato da una pluralità di fili 21 realizzati in un qualsiasi materiale superconduttore e disposti tra loro paralleli secondo un reticolo tridimensionale, annegati in una matrice 22 di un materiale diverso; i fili 21 presentando una sezione simmetrica (nella fattispecie quadrata, ma potrebbe essere rotonda) avente dimensioni trasversali L tali da assicurare le condizioni di risonanza di forma descritte, e sono tra loro distanziati nella matrice 22 di una quantità W .

In generale, per determinare la dimensione accettabile di L , ovvero quella che determina il soddisfacimento delle condizioni di risonanza, oltre che la (3), valida per i

superconduttori secondo l'invenzione del tipo "a bande", come quelli di figure 2 e 5, ed esprimibile in primo luogo come:

$$(4) \quad K_F = (2\pi/L) (n/2)$$

ove K_F è il vettore d'onda di Fermi (valore noto e tabulato per i principali superconduttori) del materiale delle bande di confinamento (bande 3 in figura 2), esistono almeno altre due condizioni di cui tenere conto in alternativa alla (3). In generale, la condizione espressa dalla figura 3, esprimibile come:

$$(5) \quad E_F \approx E_n$$

che tiene conto del possibile spostamento dalla condizione (4) nel superreticolo.

In secondo luogo, qualora i valori di L desunti dalla (4) fossero troppo piccoli per la realizzazione delle porzioni superconduttrici, la:

$$(6) \quad |K_F - G| = (2\pi/L) (n/2)$$

dove G è il vettore del reticolo reciproco.

In figura 6 è illustrato un altro esempio di un superconduttore 30 ad alta temperatura critica secondo l'invenzione, formato da una pluralità di nuclei 31 sostanzialmente sferici realizzati in un materiale superconduttore e disposti tra loro secondo i vertici di un reticolo tridimensionale cubico 32, annegati in una matrice 33 di un materiale diverso; i nuclei 31 presentano un diametro pari ad L , ed il lato del reticolo cubico 32 presenta una lunghezza W .

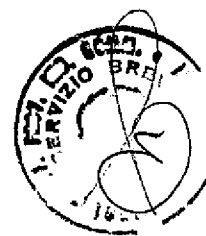
In figura 7, infine, è illustrato un superconduttore 40 secondo l'invenzione del tutto simile al 30, ma formato da un fullerene, in cui, perciò, il materiale metallico superconduttore è raccolto in una pluralità di bolle sferiche 41 in cui è la circonferenza equatoriale che deve essere pari ad L , disposte annegate in un materiale 42 diverso, disposte tra loro secondo i vertici di un reticolo tridimensionale cubico 32 come quello di figura 9.

Un ulteriore variante di materiale superconduttore secondo l'invenzione è quella ottenibile "copiando" la struttura degli ossidi di rame in Bi2212, cioè (figura 1) un superconduttore avente reticolo del tipo di quello di figura 2, in cui, però, il materiale che costituisce le seconde porzioni 4 differisce da quello che costituisce le prime porzioni 3 solamente a livello di reticolo cristallino.

In definitiva, il superconduttore ad alta temperatura secondo l'invenzione deve avere una struttura come quelle sopra descritte, in cui L sia tale che una qualsiasi delle (4), (5) o (6) sia soddisfatta ed in cui W sia pari alla lunghezza di coerenza di Pippard (ξ_0) del materiale superconduttore usato nella eterostruttura o che sia vicina (ovvero $\xi_0 < W < 10 \xi_0$).

I materiali superconduttori descritti, in particolare quelli di figure 2, 5 e 6 possono essere realizzati mediante opportune alligazioni/drogaggi e trattamenti su materiali omogenei oppure, "artificialmente" operando secondo l'invenzione come segue (figura 8): dapprima viene preparato un substrato 50 costituito da un materiale scelto nel gruppo consistente in un metallo, una lega metallica o un non-metallo; quindi, viene effettuata una fase di formazione sul substrato 50 di una pluralità di elementi 51 realizzati in un materiale superconduttore e diverso dal materiale del substrato 50; gli elementi 51 vengono preferibilmente ottenuti per epitassia a fascio molecolare o altra tecnica equivalente, in modo da presentare, almeno lungo una direzione prefissata y dimensioni L e distanza reciproca W di valore prefissato e tale da soddisfare le condizioni precedentemente descritte; infine, viene formato sul substrato 50 e sugli elementi 51 un nuovo substrato 52 identico al primo, fino a ricoprire gli elementi 51 per uno spessore S sostanzialmente pari alla distanza W o ad un suo multiplo, e le ultime due fasi vengono ripetute per un numero prefissato di volte, per creare una eterostruttura metallica tridimensionale 60.

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)



Nel caso del superconduttore 10 di figura 8 il metodo di realizzazione è semplificato e consiste semplicemente nell'alternare gli strati 11 e 12, facendoli crescere per epitassia o per deposizione.

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

RIVENDICAZIONI

1. Superconduttore ad alta temperatura critica, caratterizzato dal fatto di essere costituito da una eterostruttura comprendente prime porzioni (3,11,21,31,41) realizzate in un materiale superconduttore, le quali sono disposte a formare una schiera di elementi multipli identici a passo costante lungo almeno una prima direzione (y), e seconde porzioni (4,12,22,33,42), realizzate in un materiale differente da quello delle prime porzioni, disposte intercalate alle prime porzioni, a separazione delle stesse; le dette prime porzioni (3,11,21,31,41) presentando una dimensione (L) e periodicità (λ), misurata lungo la prima direzione (y) tale da determinare condizioni di risonanza di forma negli elettroni al livello di Fermi, mentre le seconde porzioni (4,12,22,33,42) presentano dimensioni (W) dell'ordine della lunghezza di coerenza di Pippard (ξ_0) del materiale superconduttore formante le prime porzioni.

2. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è formato da una pluralità di primi (11) e secondi (12) strati disposti tra loro alternati e sovrapposti; i primi strati definendo le dette prime porzioni ed i secondio strati (12) le dette seconde porzioni.

3. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è formato da una pluralità di piani atomici (2) sovrapposti, ciascun piano comprendendo: una pluralità di prime bande (3) costituite da un materiale superconduttore e presentanti una larghezza (L) pari ad un multiplo intero della metà della lunghezza d'onda di Fermi (λ_F) del detto materiale metallico superconduttore; ed una pluralità di seconde bande (4), alternate alle prime (3) e costituite di un materiale diverso da quello delle prime bande e scelto nel gruppo consistente in: un materiale metallico, una lega metallica ed un non-metallo; le seconde bande (4) avendo una larghezza (W) pari alla lunghezza di coerenza di Pippard (ξ_0) del materiale metallico

PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

superconduttore costituente le prime bande (3), o ad un suo multiplo; ed i detti piani essendo tra loro distanziati di una altezza (h) sostanzialmente pari alla larghezza (W) delle seconde bande (4) o tale che $\xi_0 < W < 10 \xi_0$.

4. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è formato da una pluralità di fili (21) realizzati in un materiale superconduttore e disposti tra loro paralleli secondo un reticolo tridimensionale, annegati in una matrice (22) di un materiale diverso; i detti fili (21) presentando una sezione simmetrica avente dimensioni trasversali (L) pari ad un multiplo intero della metà della lunghezza d'onda di Fermi del detto materiale superconduttore, ed essendo tra loro distanziati di una quantità (W) pari alla lunghezza di coerenza di Pippard (ξ_0) del materiale superconduttore costituente i fili (21), o tale che $\xi_0 < W < 10 \xi_0$.

5. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è formato da una pluralità di nuclei (31) sostanzialmente sferici realizzati in un materiale superconduttore e disposti tra loro secondo i vertici di un reticolo tridimensionale cubico (32), annegati in una matrice (33) di un materiale diverso.

6. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che è formato da un fullerene in cui un materiale superconduttore è raccolto in una pluralità di bolle sferiche (41) aventi la circonferenza equatoriale pari ad un multiplo intero della metà della lunghezza d'onda di Fermi del materiale superconduttore e disposte annegate in un materiale diverso.

7. Superconduttore ad alta temperatura critica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che il materiale che costituisce le seconde porzioni differisce da quello che costituisce le prime porzioni solamente a

livello di reticolo cristallino.

8. Metodo per realizzare superconduttori ad alta temperatura critica, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- preparazione di un substrato costituito da un materiale scelto nel gruppo consistente in: un metallo, una lega metallica, un non-metallo;

- formazione, su detto substrato e sugli elementi precedentemente formati, di un nuovo substrato identico al primo fino a ricoprire i detti elementi per uno spessore compreso tra la lunghezza di coerenza di Pippard del materiale superconduttore e dieci volte la stessa; e

- ripetizione delle fasi precedenti di formazione per un numero prefissato di volte fino a creare una eterostruttura tridimensionale; le dette dimensioni e distanza reciproca venendo realizzate tali che, in detta eterostruttura, gli elettroni al livello di Fermi nel detto materiale superconduttore sono in condizioni di risonanza di forma..

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che la detta eterostruttura è ottenuta mediante epitassia a fascio molecolare.

10. Metodo per realizzare superconduttori ad alta temperatura critica, caratterizzato dal fatto di creare una eterostruttura tridimensionale alternando primi strati consistenti in un metallo, una lega metallica, un non-metallo, con secondi strati realizzati in un materiale superconduttore, i detti strati essendo realizzati con spessori prefissati e tali che, nella eterostruttura, gli elettroni al livello di Fermi nel detto materiale superconduttore sono in condizioni di risonanza.

p.i.: BIANCONI Antonio
PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

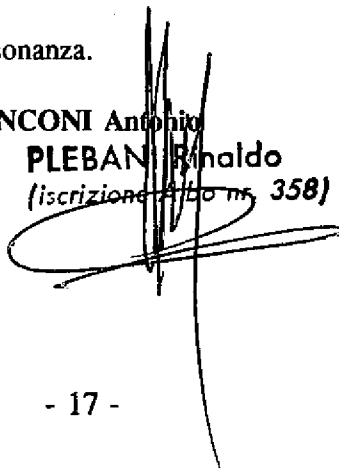


FIG.1

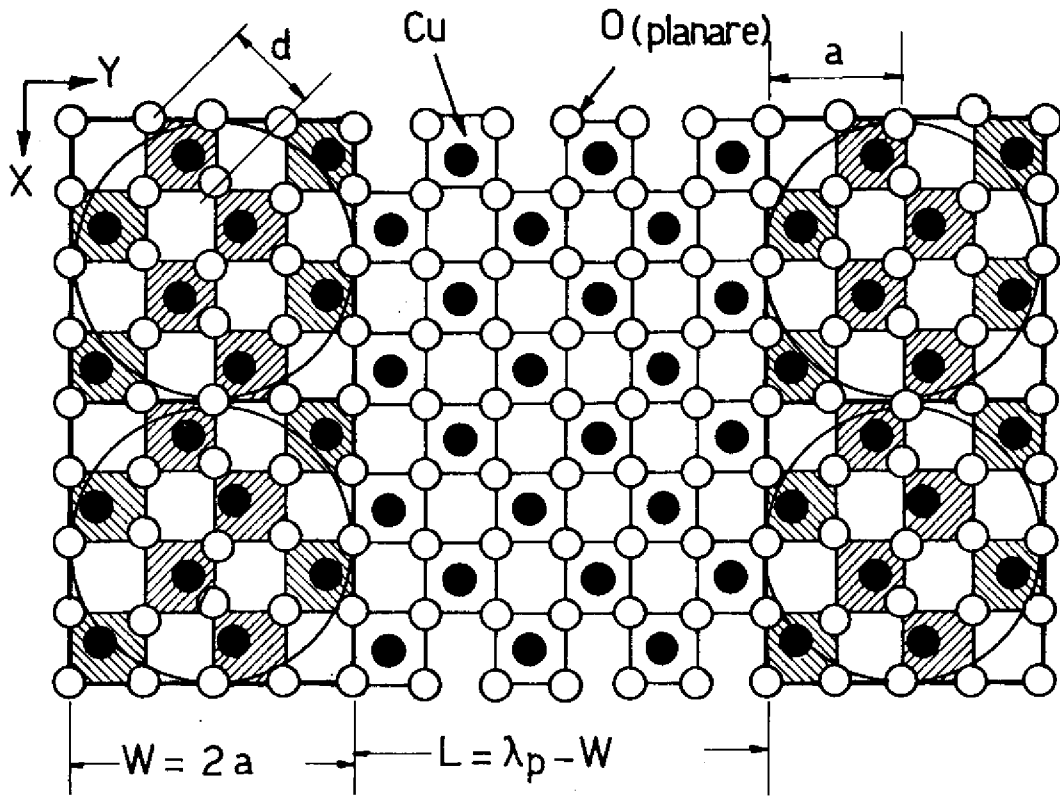
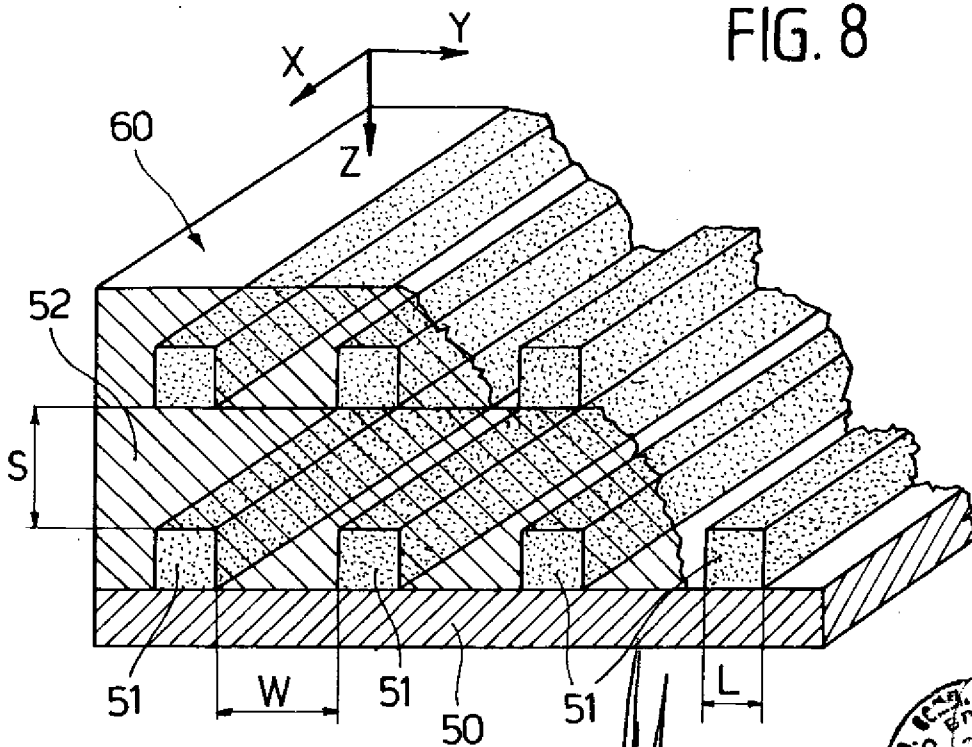


FIG. 8



p.i.: BIANCONI Antonio
 PLEBANI Rinaldo
 (iscrizione Albo nr. 358)

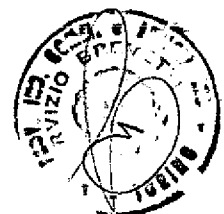


FIG. 2

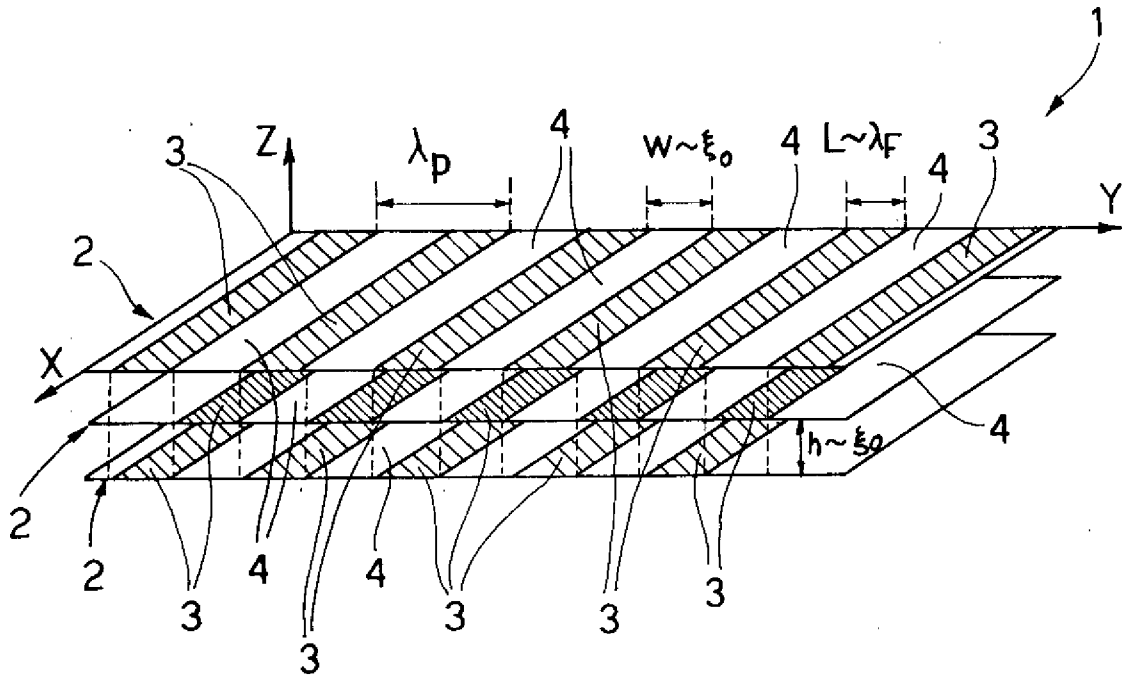
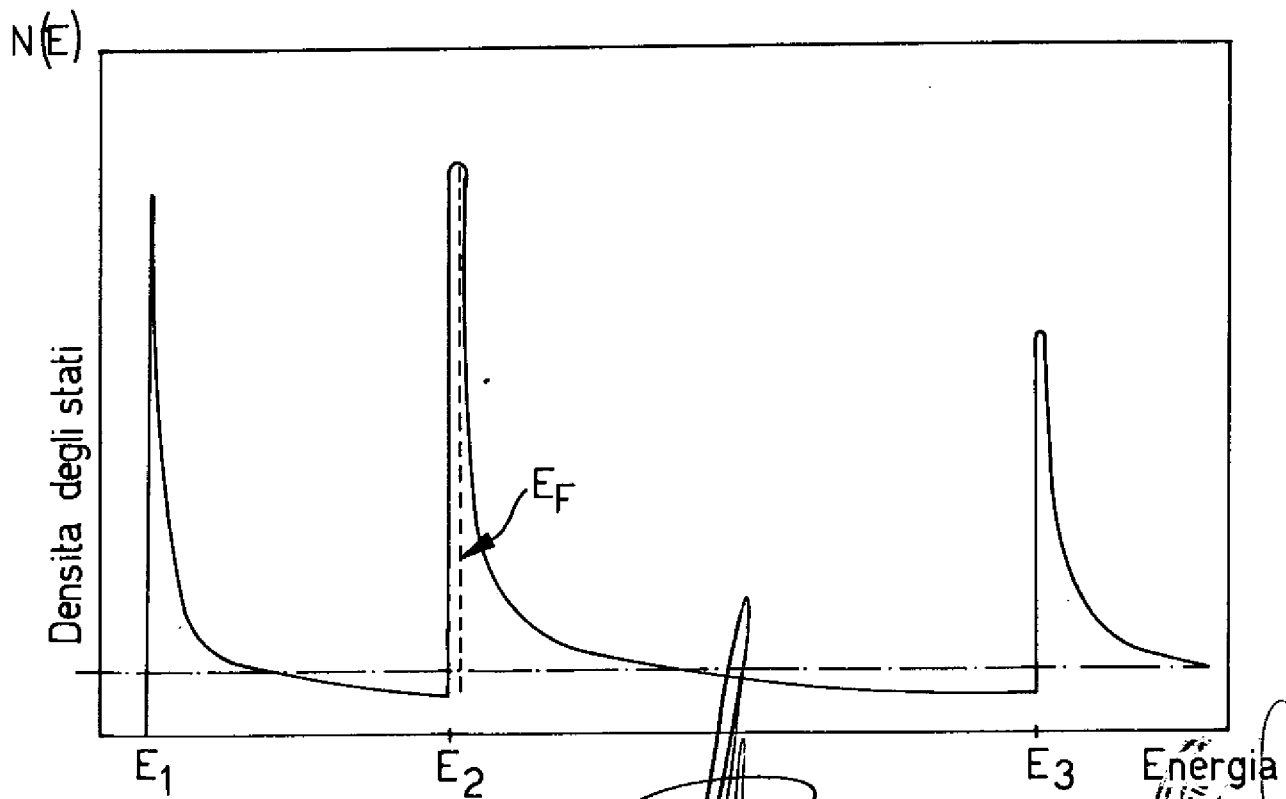
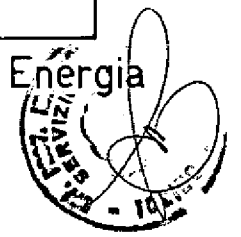


FIG. 3



p.i.: BIANCONI Antonio
PLEBANI Rinaldo
 (iscrizione Albo nr. 358)



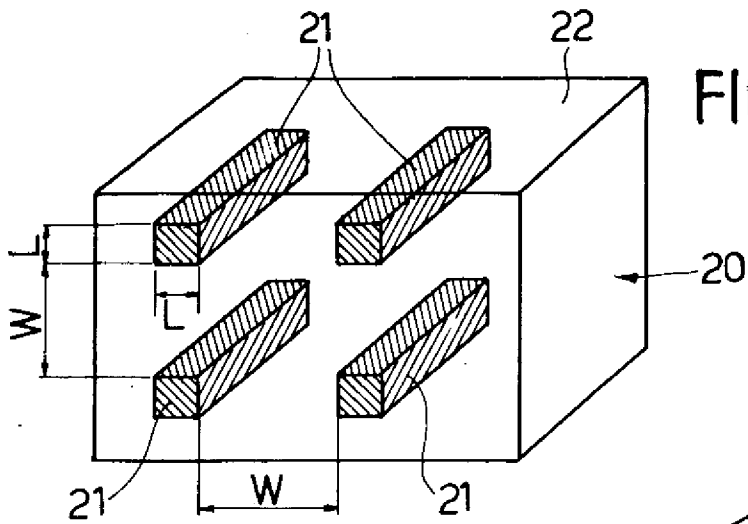


FIG. 5 TO 93A000923

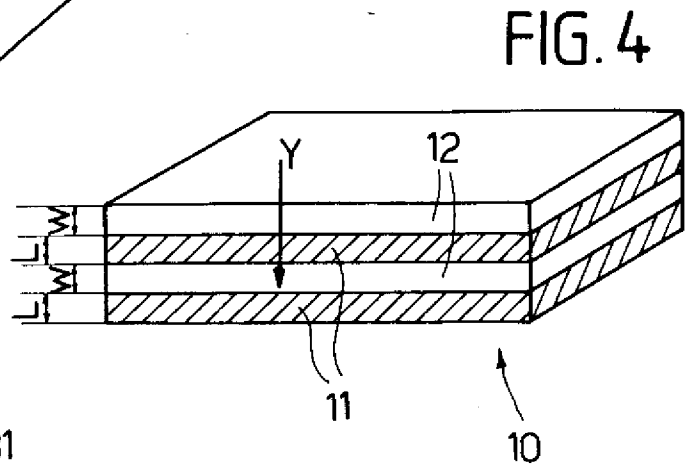


FIG. 4

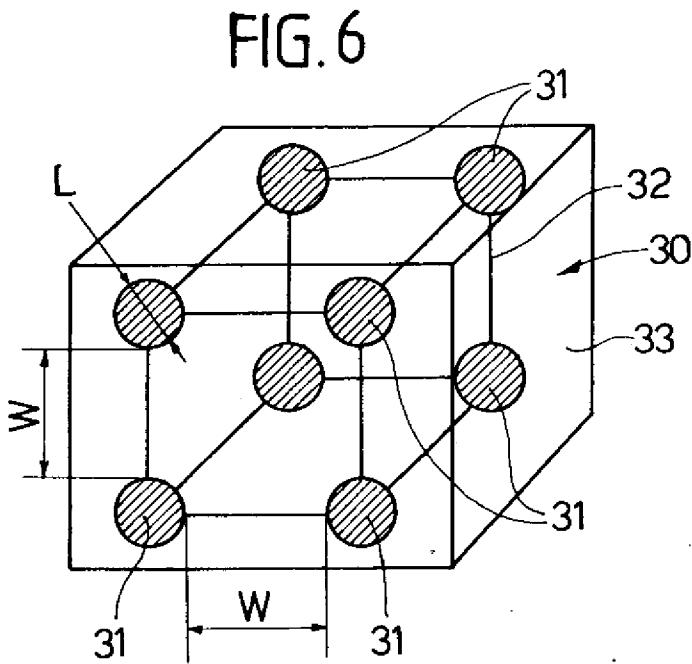


FIG. 6

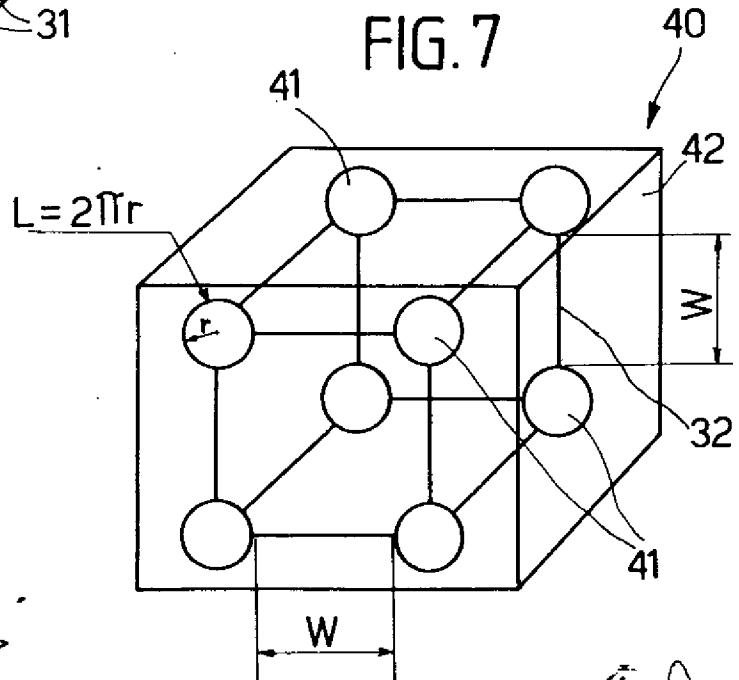


FIG. 7

p.i.: ~~BIANCONI Antonio~~
PLEBANI Rinaldo
(iscrizione Albo nr. 358)

