NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Étude systématique des interactions entre divers substrats et un supraconducteur Er-Ba-Cu-O au cours de la cristallisation. Partie 2: Substrats de $BaCrCu_{0,16}O_x$ sur NiO et de chromates de barium et/ou de cuivre et/ou d'erbium. Comparaison avec un substrat témoin de NiO

Dubé, D.; Arsenault, B.; Gélinas, C.; Lambert, P.; Champagne, B.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

Rapport technique (Institut des matériaux industriels (Series)); no. IMI92RT-23500-1351-G, 1992-06-26

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=4fe4e3ba-8701-4a12-8f5a-2f59675281b5
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=4fe4e3ba-8701-4a12-8f5a-2f59675281b5

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at
https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

IMI92RT-23500-1351-G
CNRC 34368

Rapport technique

Titre: Etude systématique des interactions entre divers substrats et un supraconducteur Er-Ba-Cu-O au cours de la cristallisation.

Partie 2: Substrats de $BaCrCu_{0,16}O_x$ sur NiO et de chromates de barium et/ou de cuivre et/ou d'erbium. Comparaison avec un substrat témoin de NiO.

Auteur: D. Dubé

Co-auteurs: B. Arsenault, C. Gélinas, P. Lambert et B. Champagne

26 juin 1992

Table des matières

1 Introduction 1
2 Méthode expérimentale 1
3 Description détaillée des résultats 1
Substrats #1 - BaCr0,2Cu0,8Ox-fritté 2
Substrats #2 - BaCr0,5Cu0,5Ox-fritté 2
Substrat #3 - BaCr0,8Cu0,2Ox-fritté 3
Substrat #4 - BaCr0,9Cu0,1Ox-fritté 5
Substrat #5 - BaCr0,9Er0,1Ox-fritté 7
Substrat #6 - BaCr0,5Er0,5Ox-fritté 9
Substrat #7 - BaCr0,8Cu0,1Er0,1Ox-fritté 12
Substrat #8 - Ba3Cr2O8-fritté 14
Substrat #9 - BaCr2O4-fritté 16
Substrat #20 - NiO dense (lame oxydée) 18
Substrat #21 - BaCrCu0,16Ox déposé / NiO(lame oxydée) 20
Substrat #22 - BaCrO4-fritté 22
Substrat #23 - BaCrCu0,16O4-fritté 24
Substrat #24 - BaCrCu0,32O4-fritté 26
4 Synthèse des résultats et conclusion 28
Références 30
Tableau 1. Remarques relatives à l'adhérence 31
Tableau 2. Températures de transition 32

1 Introduction

Le présent rapport fournit une évaluation des substrats constitués des chromates de barium, de cuivre et d'erbium en plus de présenter les résultats obtenus sur le nickel oxydé et sur un substrat de nickel préalablement oxydé puis revêtu de chromate de barium. Les résultats concernant le substrat de nickel oxydé serviront à présenter la contamination type provoquée par le contact direct du 123 fondu avec le substrat de nickel oxydé.

2 Méthode expérimentale

Les méthodes de mise en forme ainsi que les cycles thermiques utilisés pour élaborer les substrats ont été décrits au tableau 1 du premier rapport (Partie1).

3 Description détaillée des résultats

Parmi les spécimens présentés dans ce rapport, il y a lieu de distinguer les chromates et chromites de barium (#8, 9 et 22), les chromates de barium et de cuivre (avec ou sans erbium) (#1-4, 7, 23, 24) ainsi que les chromates de barium et d'erbium (sans cuivre) (#5 et 6). Il y a aussi lieu de distinguer le témoin, le substrat de nickel oxydé (#20), de celui qui est oxydé et revêtu d'une mince couche de $BaCrCu_{0,16}O_x$ (#21).

La synthèse des résultats concernant l'adhérence est présentée au tableau 1. Tous les résultats concernant les températures de transitions sont regroupés au tableau 2. Nous avons placé en annexe les courbes de susceptibilité des échantillons analysés.

Substrats #1 - $BaCr_{0,2}Cu_{0,8}O_x$-fritté

Substrats #2 - $BaCr_{0,5}Cu_{0,5}O_x$-fritté

Ces deux types de substrats ont partiellement fondu au cours des essais. Le point de fusion de ces deux substats est sensiblement abaissé en raison de leurs hautes teneurs en cuivre. Aucune mesure n'a été effectuée sur ces spécimens après leur sortie du four.

Substrat #3 - $BaCr_{0,8}Cu_{0,2}O_x$-fritté

Métallographie

Le comprimé supraconducteur adhère très bien à ce substrat (Fig. 1). Les grains de supraconducteur se présentent en blocs allongés et contiennent moins de 0,6%at. Cr. On retrouve toutefois plus de 6%at. Cr dans la phase $BaCuO_x$ qui est liquide à haute température. La phase CuO et les plaquettes de 211 sont exemptes de chrome. Une quantité appréciable de 211 dans le comprimé indique qu'une certaine proportion de $BaCuO_x$ a été perdue dans le substrat au cours du cycle thermique (Fig. 2). D'ailleurs un changement de coloration du substrat près de l'interface (couleur jaune typique[1] du chromate de barium $BaCrO_4$) indique la limite de pénétration et de réaction du liquide formé lors du cycle thermique. Le substrat conserve une certaine porosité et sa forme ne semble pas affectée par ce mouillage. Il faut souligner qu'on ne trouve pas dans le substrat de grains possédant la composition originale. Les grains sont constitués de $Ba_{0,53}Cr_{0,47}O_x$ entourés de la phase $Ba_{0,51}Cu_{0,37}Cr_{0,06}Er_{0,06}O_x$ et de CuO_x .

Interface

A l'interface, on observe que le chrome a diffusé dans le 123 probablement à partir de la phase liquide Ba-Cu-O, elle même contaminée par le chrome. D'autre part un peu d'erbium a migré entre les grains du substrat tout près de l'interface. Le mouillage par la phase liquide a entraîné un excès de barium et de cuivre dans le substrat. Ce liquide se retrouve principalement entre les grains du substrat près de l'interface.

Susceptibilité

Les températures de transition, T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 93, 82 et 73K . Cette transition très graduelle peut s'expliquer en partie par une oxygénation incomplète car les grains de 123 sont partiellement entourés de CuO. De plus une certaine quantité de chrome a été substituée au cuivre dans le 123, ce qui affecte peut-être la cinétique d'oxygénation.

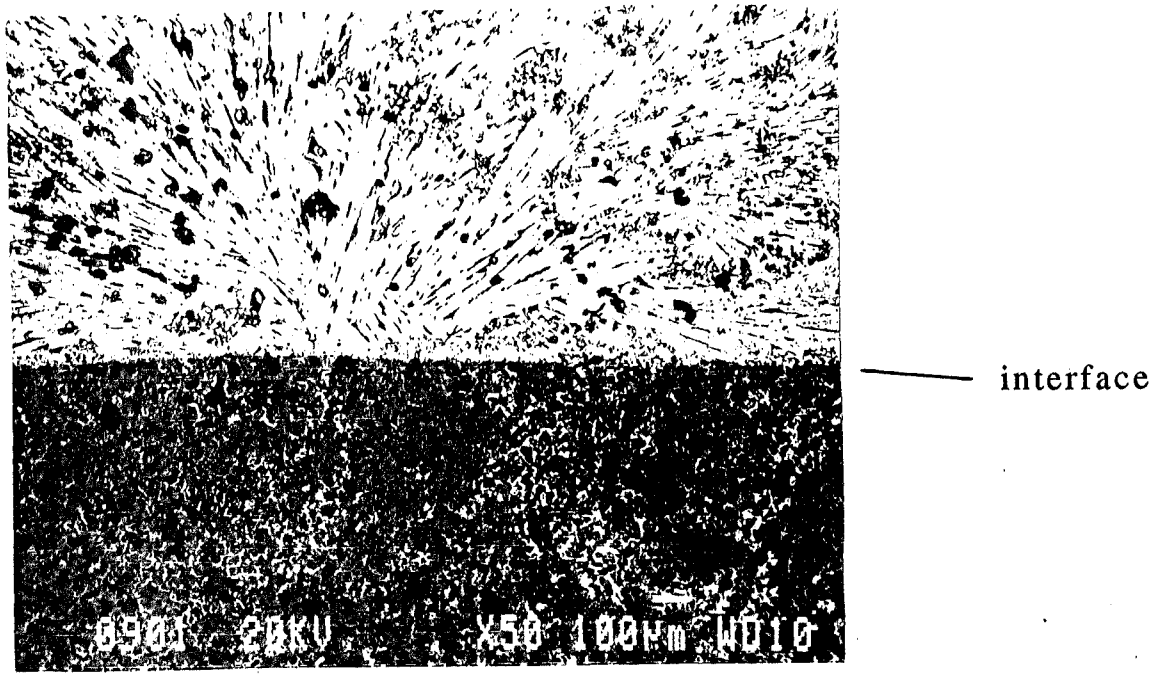


Fig.1 Microstructure générale à l'interface 123-substrat#3.

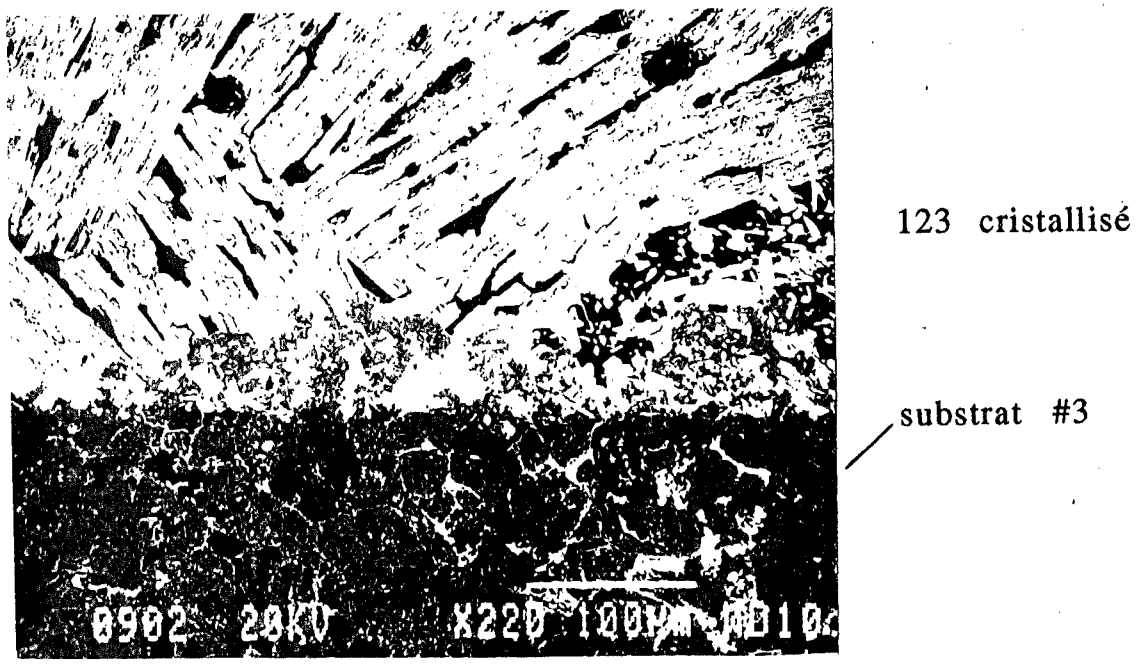


Fig.2 Détail de la microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #4 - $BaCr_{0,9}Cu_{0,1}O_x$-fritté

Métallographie

L'adhérence entre le comprimé supraconducteur et le substrat est très bonne. La microstructure de ce spécimen (Fig. 3) est semblable à celle observée sur le substrat #3. On note des grains de 123 orientés par domaines allongés ainsi qu'une proportion importante de pores de forme arrondie et de 211 dans le comprimé. Il y a moins de 0,8%at. Cr dans le 123 mais aucune trace dans les grains de 211 ou de CuO.

Il semble y avoir de nombreuses phases dans le substrat. Certaines sont trop fines pour être analysées au microscope à balayage. Les résultats des analyses ont montré que certains grains, plus gros, possédaient une composition $Ba_{0,61}Cr_{0,38}O_x$ dont la stoechiométrie est voisine du $Ba_3Cr_2O_8$ (oxychromite de barium).

Interface

L'aspect de l'interface est semblable à celui du substrat #3, dont la composition est très rapprochée. Nous avons aussi pu constater la présence d'un cerne de mouillage jaunâtre près de l'interface.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 94, 81 et 73K. Les valeurs obtenues sont voisines de celles recueillies pour le substrat #3. La microstructure ainsi que les niveaux de contamination sont d'ailleurs semblables.

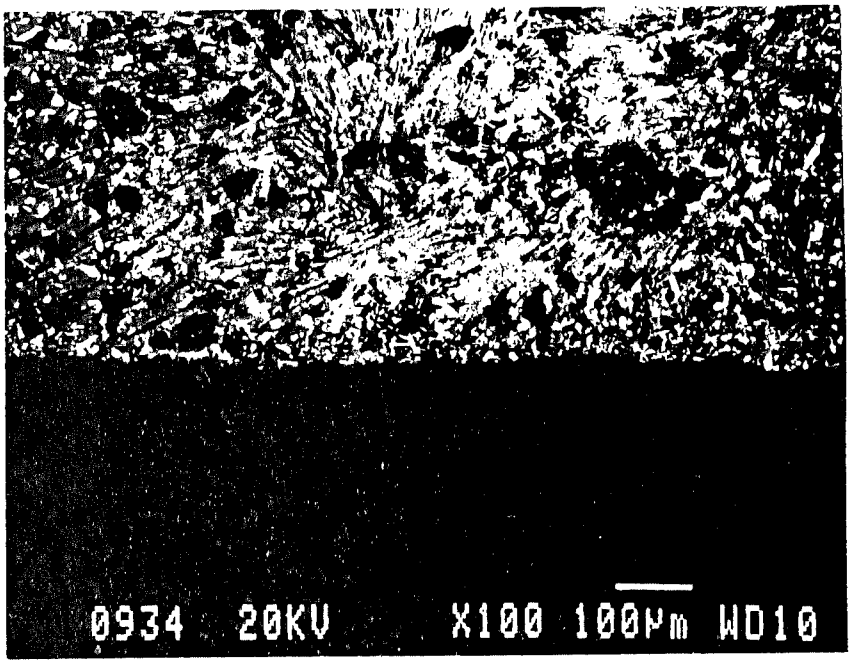


Fig. 3 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #5 - $BaCr_{0,9}Er_{0,1}O_x$-fritté

Métallographie

Il existe un excellent contact entre le substrat et le comprimé supraconducteur (Fig. 4). La forme et l'orientation des grains de 123, de CuO et de 211 (Fig. 4) rappelle celle des spécimens précédents(#3 et #4). Il y a toutefois moins de phases intergranulaires. La contamination du 123 par le chrome est de l'ordre de 1,3%at., ce qui est un peu supérieur à celle relevée pour les comprimés traités sur les substrats #3 et #4.

Un cerne de mouillage foncé autour du comprimé, près de l'interface, indique qu'il y a eu une migration de la phase liquide Ba-Cu-O dans le substrat au cours du cycle thermique. Un cratère est aussi visible à la surface du substrat près du comprimé, ce qui suggère une certaine attaque (dissolution) du substrat par la phase liquide. Le substrat est constitué des phases $Ba_{0,51}Cr_{0,48}O_x$ et de phases diverses très finement dispersées. Aucun changement dimensionel appréciable du substrat n'a été observé suite à l'absorption de liquide par le substrat poreux.

Interface

Les grains originaux du substrat ont été décomposés par réaction à haute température au contact avec la phase liquide Ba-Cu-O. À l'interface, cela se traduit par la formation de grains $BaCrO_x$ distribués sur quelques centaines de microns. D'autres phases très fines sont visibles, mais elles ne peuvent être analysées à cause des limites instrumentales.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 91,3 , 80 et 50K. Les valeurs obtenues sont un peu inférieures à celles recueillies sur le substrat #3 et #4, ce qui peut être attribué, en partie, à une plus grande contamination de la phase 123 par le chrome.

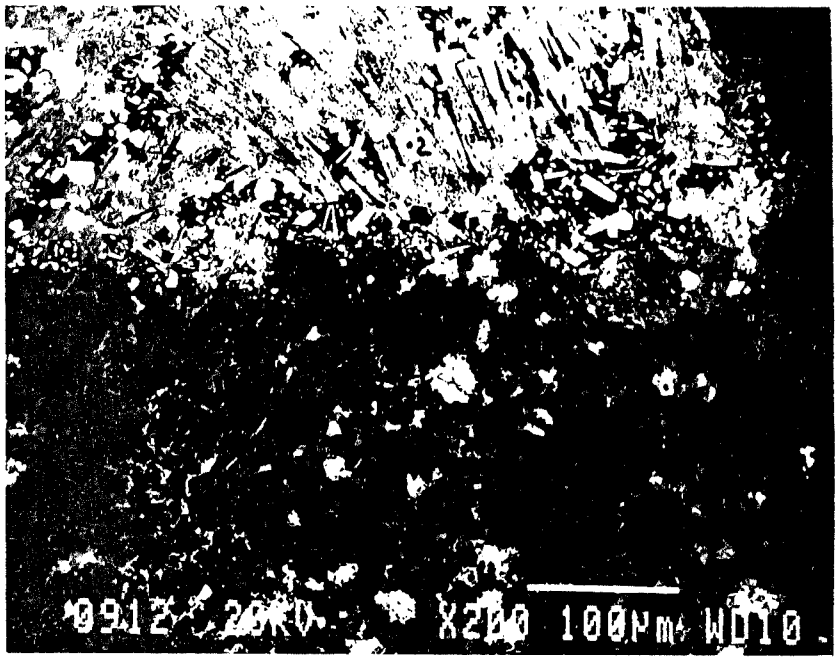


Fig. 4 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #6 - $BaCr_{0,5}Er_{0,5}O_x$-fritté

Métallographie

Nous n'avons noté aucune adhérence entre le substrat et le comprimé après le cycle thermique. Dans le comprimé, nous avons observé peu de grains de 123, mais une grande quantité de plaquettes de 211 (Fig. 5), ce qui explique sa coloration verte après le traitement thermique. Le 123 observé était rare, et isolé parmi les plaquettes de 211. Il n'y a pas de chrome qui a été détecté dans le 123 ou dans le 211. Le substrat est constitué essentiellement de $Ba_{0,51}Cr_{0,48}O_x$, de 211, de $Ba_{0,50}Cr_{0,36}Cu_{0,14}O_x$. Une concentration de chrome variant entre 0 et 1,2%at. Cr a été mesurée dans le 211 présent dans le substrat.

Interface

Le substrat a gonflé localement, au point de contact entre le comprimé supraconducteur et le substrat (Fig. 6a). Ce gonflement est attribué aux transformations survenues à la suite de la pénétration du liquide pendant le cycle thermique. Comme pour le substrat #5, les grains originaux du substrat ont été décomposés par réaction à haute température au contact avec la phase liquide Ba-Cu-O. Cela a conduit à la formation de $Ba(Cr,Cu)O_x$ et de 211 qui sont distribués sur quelques centaines de microns près du point de contact entre le supraconducteur et le substrat (Fig. 6a et b).

Susceptibilité

La température T_C (100%) est de 92,3K. Le signal est toutefois très faible en raison du faible volume de 123 résiduel.

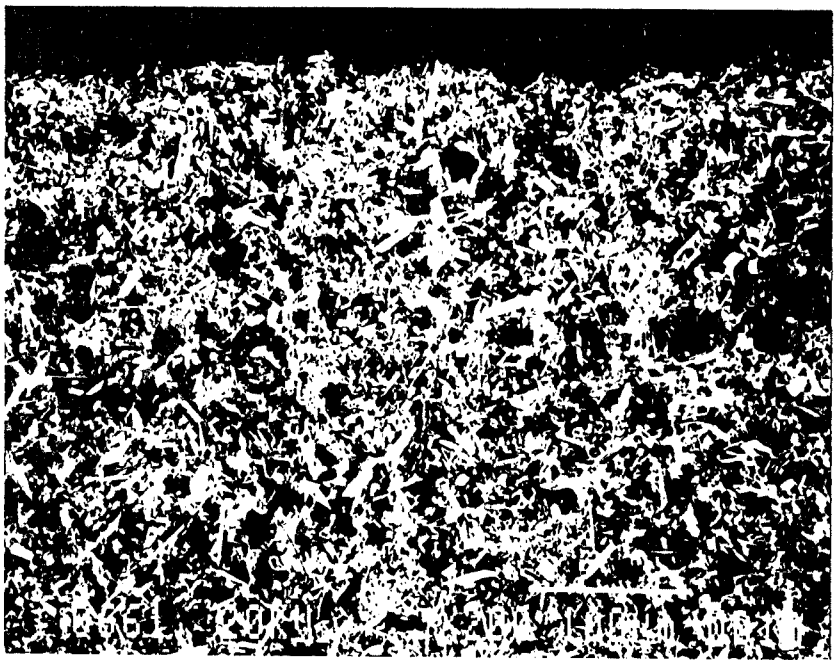
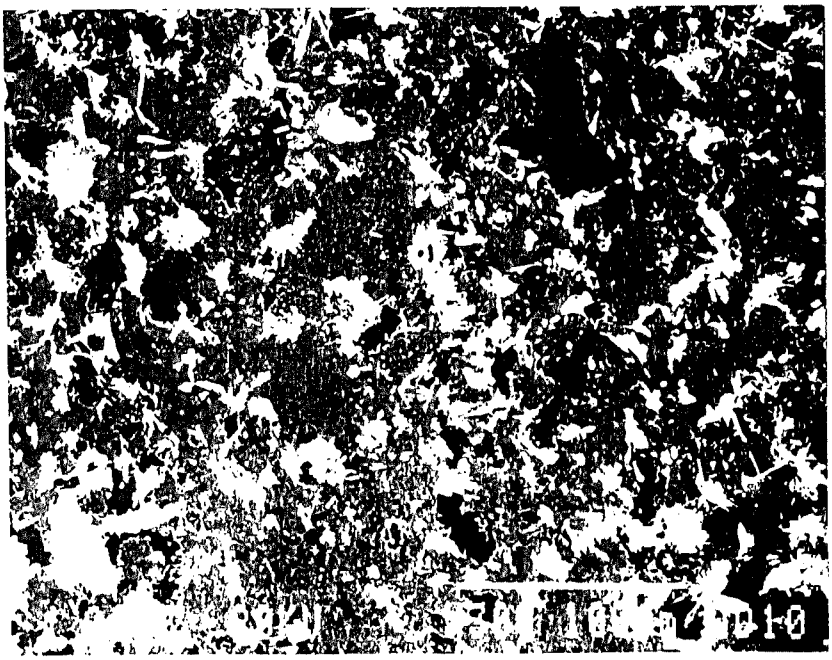


Fig. 5 Microstructure du 123 cristallisé sur le substrat #6.

(a)



(b)

Fig.6 (a) microstructure du substrat #6, près de l'interface; (b) détail de la surface du substrat #6 au point de contact.

Substrat #7 - $BaCr_{0,8}Cu_{0,1}Er_{0,1}O_x$-fritté

Métallographie

Le substrat adhère bien au comprimé après le cycle thermique. La micrographie et la contamination des phases dans le substrat et le comprimé sont d'ailleurs semblables à celles rapportées pour les substrats #3 et #4. Le 123 est contaminé par environ 0,7%at. Cr. Une quantité appréciable de plaquettes de 211 dispersées dans une matrice de $Ba_{0,51}Cr_{0,49}O_x$ a été observée dans le comprimé supraconducteur, près de l'interface.

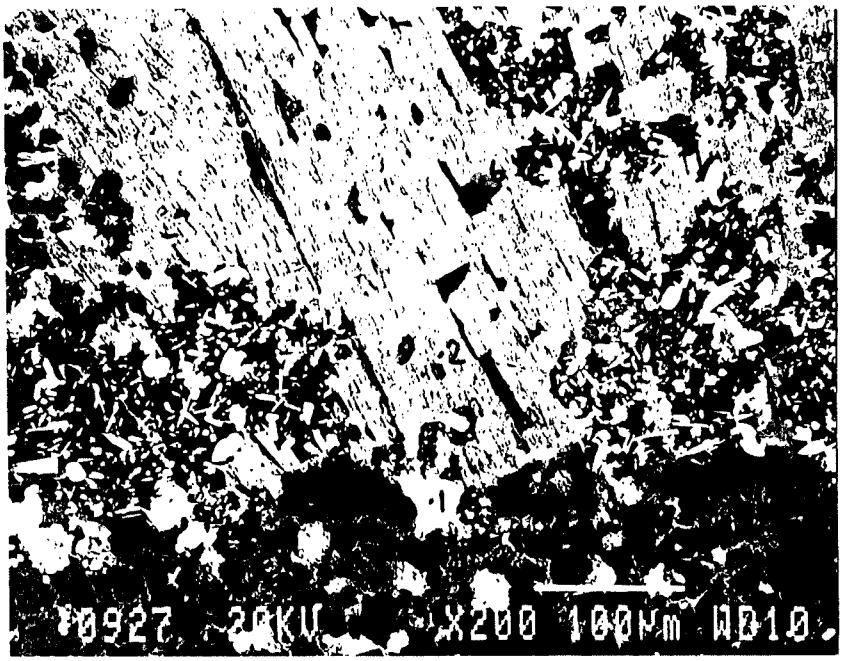
Le substrat est constitué de grains de $Ba_{0,51}Cr_{0,48}O_x$ qui sont séparés d'une mince couche de $Ba_{0,51}Cu_{0,41}Cr_{0,08}O_x$, ainsi que d'amas de 211 (Fig. 7).

Interface

De nombreux pores sont alignés tout le long de l'interface (Fig. 7). On note que les phases du substrat sont mélangées à celles du comprimé à l'interface ce qui contribue à renforcer l'adhérence.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 92, 83 et 60K. Voir les commentaires pour les substrats précédents (#3 et #4).



123 cristallisé

substrat #7

Fig. 7 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #8 - $Ba_3Cr_2O_8$-fritté

Métallographie

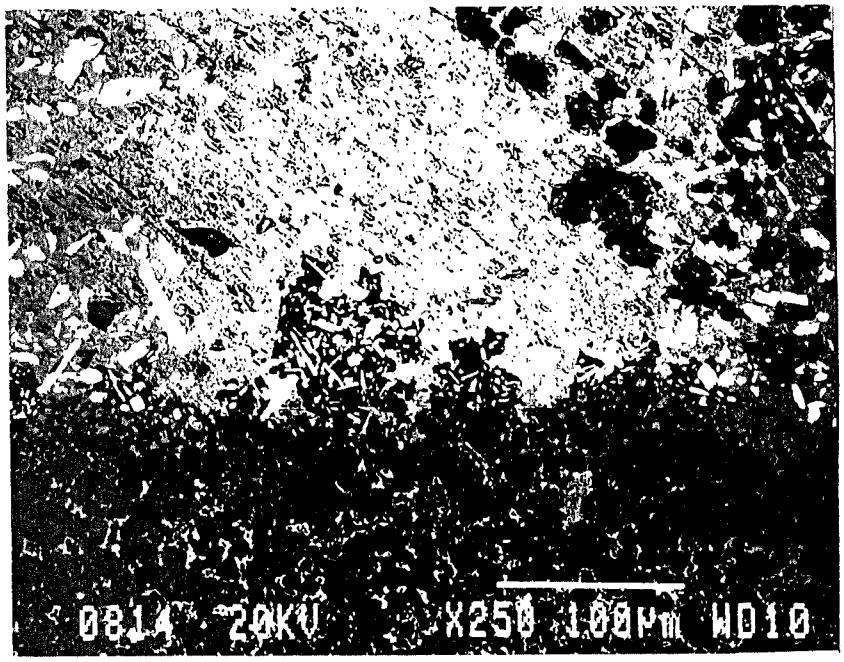
Nous avons observé une bonne adhérence du comprimé à ce type de substrat après le cycle thermique. Les grains de 123 sont denses et alignés par blocs de plusieurs millimètres de largeur (Fig. 8). Nous avons mesuré une concentration de 0,6%at. Cr dans la phase 123 mais nous n'en avons retrouvé aucune trace dans le 211 ou dans le CuO. Le substrat constitué originalement d'oxychromite de barium $Ba_3Cr_2O_8$ a subi une certaine décomposition car après le cycle thermique, les grains du substrat sont constitués de $Ba_{0,50}Cr_{0,49}O_x$ et entourés d'une mince couche riche en cuivre et en barium. Soulignons que le composé initial $Ba_3Cr_2O_8$ est métastable au-dessous d'environ 900°C, température à laquelle le chromate de barium devient plus stable[1].

Interface

La métallographie confirme le caractère continu et intime de l'interface. On retrouve en quantité appréciable des inclusions angulaires riches en barium principalement à l'interface du côté du substrat. Comme mentionné ci-dessus, ces inclusions sont probablement le résultat de la décomposition, au cours du refroidissement, du substrat riche en barium. L'enrichissement en barium à l'interface peut être attribué à la diffusion des atomes de chrome vers la phase liquide Ba-Cu-O provenant du comprimé, ce qui laisse une plus grande concentration de barium à l'interface.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 92, 82,4 et 78K. Ces températures sont semblables à celles observées précédemment pour les autres substrats contenant du chrome et du barium.



123 cristallisé

substrat #8

Fig. 8 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #9 - $BaCr_2O_4$-fritté

Métallographie

Les grains de 123 sont disposés en gerbes. On a mesuré jusqu'à 0,7%at. Cr dans le 123 mais aucune trace dans les phases 211 et CuO. Une couche de réaction jaunâtre est présente entre le substrat et le comprimé. Elle est constituée essentiellement de chromate de barium $Ba_{0,50}Cr_{0,48}Cu_{0,02}O_x$ et de $Ba_{0,47}Cu_{0,50}Cr_{0,03}O_x$.

Le substrat, loin de la couche d'interface est constitué de deux phases: l'oxyde de chrome et le chromate de barium $BaCrO_4$. Cette décomposition est probablement due à l'instabilité du composé aux températures inférieures à 900°C.

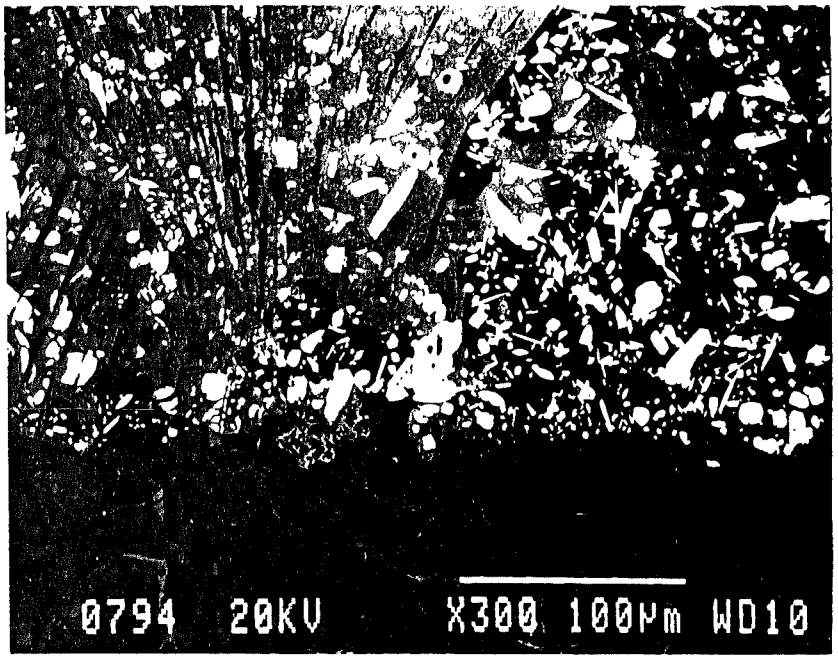
Interface

La disposition des grains de 123 près de l'interface montre que la germination du 123 s'est produite en certains points sur l'interface (Fig. 9).

L'instabilité du composé $BaCr_2O_4$ aux températures inférieures à 900°C semble avoir accru les réactions aux interfaces car une plus grande quantité de chromate de barium a été formée. Toutefois l'adhérence entre le substrat et le comprimé a été maintenue.

Susceptibilité

Les températures $T_{C\ (100\%)}$, $T_{C\ (30\%)}$ et $T_{C\ (10\%)}$ sont respectivement de 93, 87,8 et 84K, et elles sont semblables à celles rapportées précédemment (substrats #3 à #8).



123 cristallisé

substrat #9

Fig.9 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat **#20 - NiO dense (lame oxydée)**

Métallographie

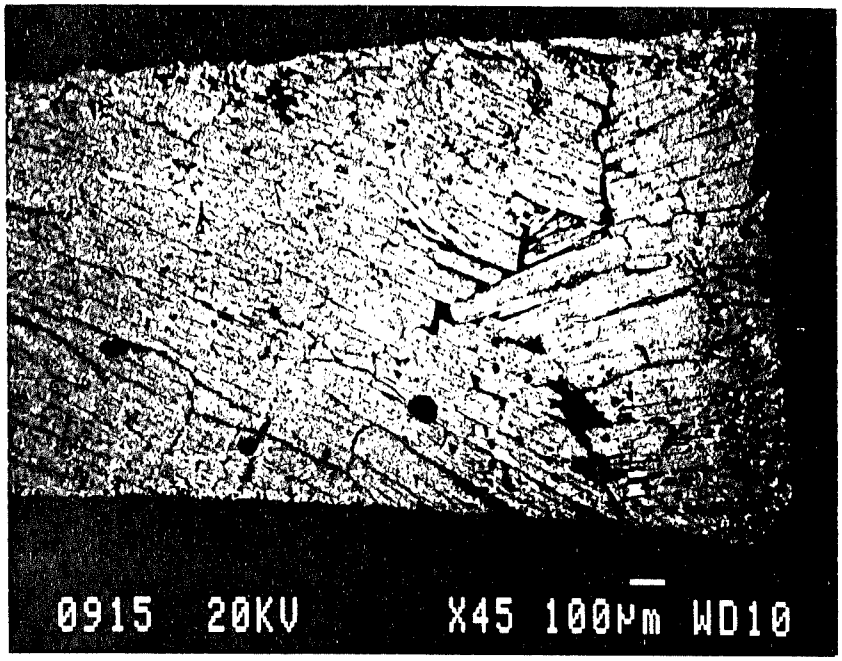
Il existe une bonne adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur (Fig. 10a et b). Après traitement, le comprimé montre une grande densité et de longs grains de 123 (2%at. Ni) orientés par larges domaines. Ces grains contiennent de petits grains de 211 non contaminés ainsi que des plages de phases CuO (1%at. Ni) et de $BaCuO_2$ (6%at. Ni). De nombreuses fissures intergranulaires sont bien visibles. La zone d'interface est contaminée par des produits de réactions riches en nickel et en cuivre.

Interface

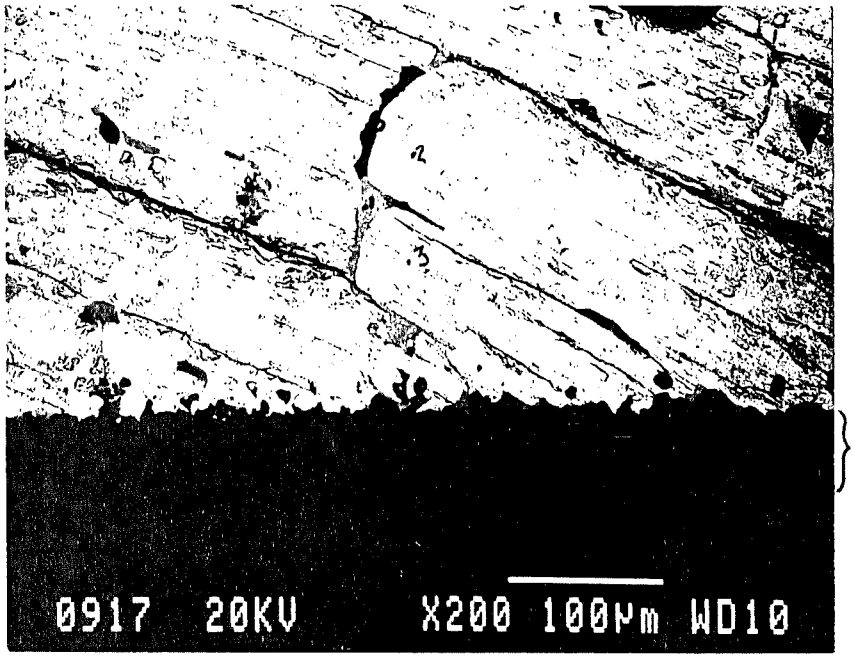
Il y a eu formation d'une bande adhérente de $Ni_xCu_{1-x}O_z$ à l'interface et d'une ligne discontinue de pores à l'interface Ni-NiO (Fig. 10b). On note aussi la formation de sphéroïdes riches en nickel qui se séparent de l'interface et migrent dans le comprimé de 123 partiellement liquide.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 88,8, 81,3 et 79K. Il y a donc une décroissance de la température critique lors d'un traitement sur ce type de substrat.



(a)



(b)

123 cristallisé

$Ni_xCu_{1-x}O$

nickel

Fig.10 (a) Microstructure du 123 recristallisé;
(b) microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #21 - $BaCrCu_{0,16}O_x$ déposé / NiO(lame oxydée)

Métallographie

Il existe une certaine adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur. Après traitement thermique, le comprimé présente des grains allongés de 123 (2,6%at. Ni) orientés par domaines surtout perpendiculairement au substrat (Fig. 11). Ces grains de 123 contiennent de petits grains de 211 non contaminés ainsi que des grains de CuO (1-2%at. Ni). De larges porosités intergranulaires sont aussi très apparentes. La zone d'interface est contaminée par des produits de réactions riches en nickel et en chrome.

Interface

Malgré une bonne adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur, on distingue à l'interface une zone de fissuration allongée dans le sens de l'interface. Au cours du traitement, il y a eu formation d'une double bande de réaction entre le comprimé supraconducteur et le substrat. La couche supérieure est constituée surtout de $BaCuO_2$ (1,5%at. Ni et 4%at. Cr) et de $BaCrO_2$ tandis que la couche inférieure est essentiellement constituée de NiO contaminée (de 1 à 2%at. Cu et Cr).

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 86,8, 71,3 et 65K. On observe une chute de la température critique lors d'un traitement sur ce type de substrat. La couche de chromate n'empêche nullement le nickel de diffuser dans le bain liquide et de contaminer le composé supraconducteur.

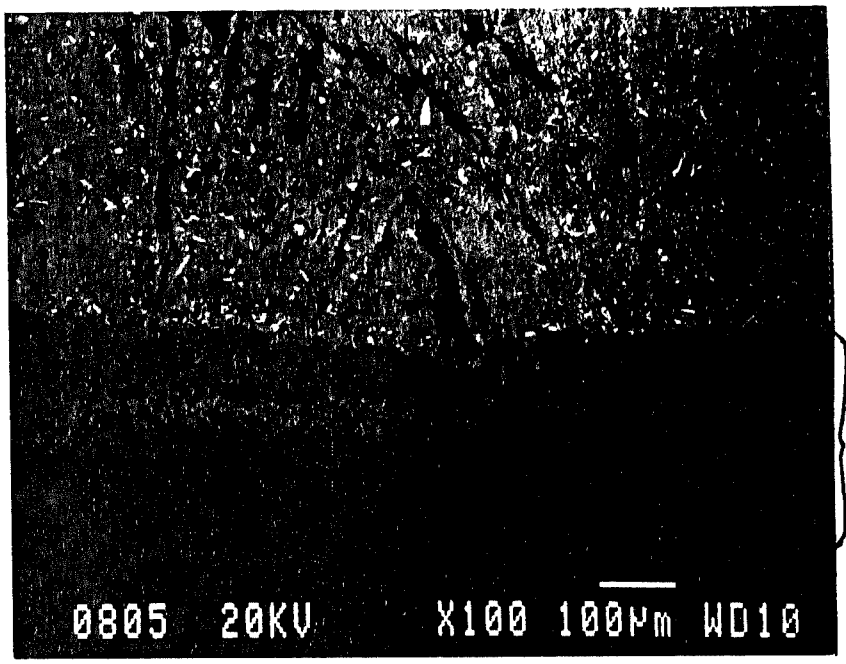


Fig. 11 Microstructure près de l'interface.—

Substrat #22 - $BaCrO_4$-fritté

Métallographie

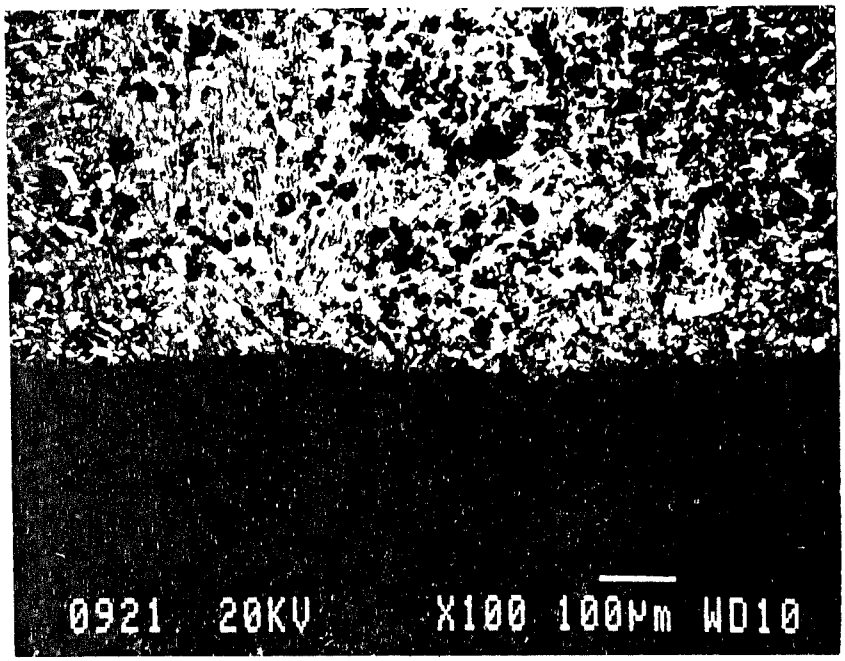
Il y a une excellente adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur (Fig. 12). Le comprimé présente, après traitement thermique, de longs grains de 123 (0%at. Cr) orientés par petits domaines. Ces bâtonnets de 123 contiennent de petits grains de 211 non contaminés ainsi que des grains de CuO et une grande quantité de petits pores. Le substrat d'interface est constitué essentiellement de grains de $Ba_{0,63}Cr_{0,36}O_x$ ainsi que de grains de $BaCrO_x$.

Interface

On distingue dans le substrat de couleur jaune des fissures perpendiculaires à l'interface ce qui peut provenir d'une différence de coefficients de dilatation entre le substrat et le comprimé supraconducteur. Il a eu peu d'interpénétration des phases du substrat et du supraconducteur. La coloration noire du substrat près de l'interface indique toutefois qu'il y a eu une certaine diffusion d'éléments. Une analyse fine a permis de détecter la présence de cuivre près de l'interface dans les phases $BaCrO_4$ car le cuivre se substitue au chrome dans ce composé.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 89,5, 78,5 et 70K. On note donc une chute de la température critique après un traitement sur ce type de substrat.



123 cristallisé

substrat #22

Fig. 12 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #23 - $BaCrCu_{0,16}O_4$-fritté

Métallographie

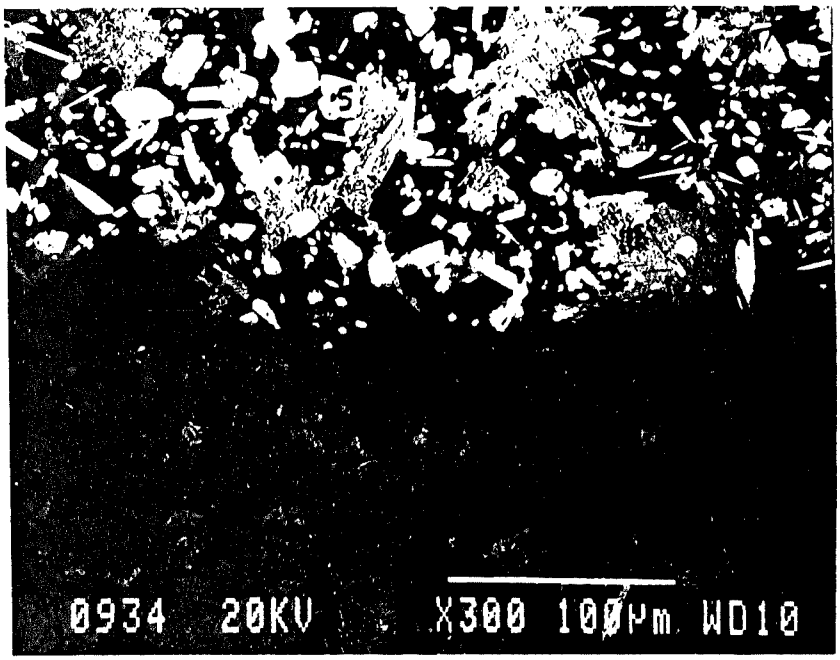
Il y a une très bonne adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur (Fig. 13). Le coeur du comprimé présente une grande porosité après traitement thermique. Celle-ci provient probablement de la perte de liquide au cours du traitement. Il y a de petits domaines formés de grains allongés de 123 (0,6%at. Cr) et orientés. Il y a aussi des petits grains de 211 qui ne sont pas contaminés par le chrome et de larges zones de CuO (0,5%at. Cr). Comme pour l'échantillon précédent, le substrat est constitué surtout de grains de $Ba_{0,63}Cr_{0,36}O_x$ et de grains de $BaCrO_x$.

Interface

Il a eu davantage interpénétration des phases du substrat et du supraconducteur dans cet échantillon que dans le cas précédent. Il y a aussi une coloration plus foncée du substrat près de l'interface ce qui indique qu'il y a aussi eu diffusion d'éléments. On a détecté du cuivre dans la phase $BaCrO_4$ mais pas dans la phase $Ba_{0,63}Cr_{0,36}O_x$.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 89,5, 73,5 et 65K. On note donc aussi une chute de la température critique avec ce type de substrat.



123 cristallisé

substrat #23

Fig. 13 Microstructure dans la région de l'interface.

Substrat #24 - $BaCrCu_{0,32}O_4$-fritté

Métallographie

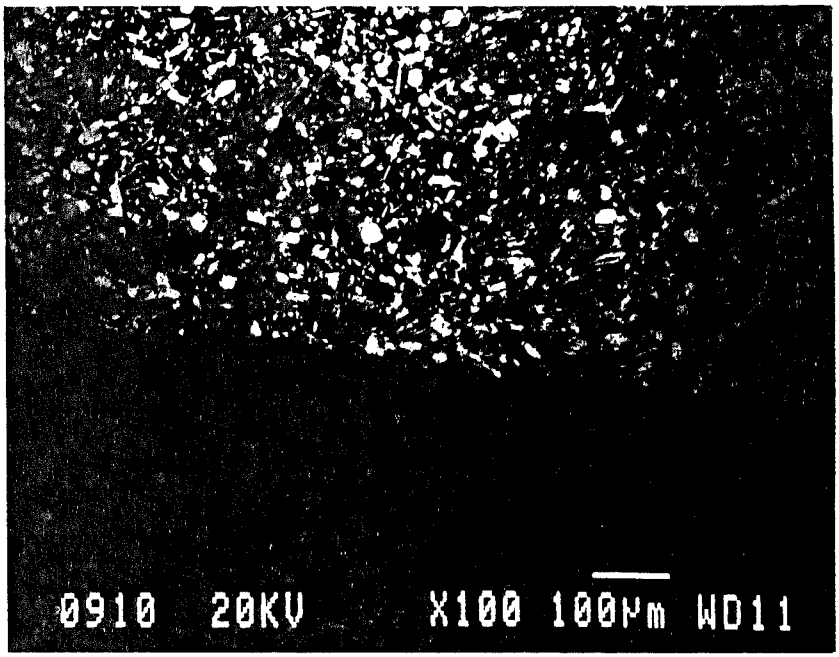
Il y a une excellente adhérence entre le substrat et le comprimé supraconducteur. Il y a de petites zones formées de grains allongés de 123 (1%at. Cr) et orientés (Fig. 14). Ces grains de 123 contiennent des petits grains de 211 qui ne sont pas contaminés par le chrome. Il y a aussi une certaine quantité de grains de 211 inclus dans une matrice de CuO (0,4%at. Cr). Comme pour l'échantillon précédent, le substrat est constitué surtout de grains de $Ba_{0,63}Cr_{0,36}O_x$ et de grains de $BaCrO_x$.

Interface

Il a eu une bonne interpénétration des phases du substrat et du supraconducteur noté à l'interface. La coloration plus foncée du substrat près de l'interface indique qu'il y a eu diffusion d'éléments. On a entre autre détecté du cuivre dans la phase $BaCrO_4$ mais pas dans la phase $Ba_{0,63}Cr_{0,36}O_x$. Il y a aussi une certaine quantité de phase $Ba_{0,48}Cu_{0,48}Cr_{0,4}O_x$ dispersée dans le substrat.

Susceptibilité

Les températures T_C (100%), T_C (30%) et T_C (10%) sont respectivement de 88,8, 75 et 65K. Comme pour les deux spécimens précédents, il y a aussi une chute de la température critique avec ce type de substrat à base de chromate de barium.



123 cristallisé

substrat #24

Fig. 14 Microstructure dans la région de l'interface.

4 Synthèse des résultats et conclusion

Métallographie et composition des phases

Les grains de 123 que nous avons observés étaient généralement de forme allongée, souvent arrangés sous forme de blocs d'orientation variée. La présence de quantités importantes de 211 témoigne de la perte de liquide riche en barium et en cuivre aux températures supérieures au solidus. Ce liquide a été perdu au profit du substrat avec lequel il a réagi.

Il se dégage de nos observations que le chrome contenu dans ces substrats ne pénètre pas dans le composé 123 en concentrations supérieures à 1%at. au cours du refroidissement, et ce malgré qu'il s'en retrouve parfois une quantité importante dans le composé $BaCuO_2$. La haute teneur en chrome dans le composé $BaCuO_2$ s'explique par la concentration élevée en chrome dans la phase liquide au moment de la solidification du $BaCuO_2$. La phase liquide est probablement la phase responsable du transport de chrome au cours de la cristallisation. Peu de chrome est retenu dans la phase CuO qui se forme.

L'addition de cuivre au composé de chromate de barium ne parvient pas à réduire la migration de liquide vers le substrat. De même l'addition d'une faible quantité d'erbium ne modifie pas appréciablement le niveau de contamination des grains de 123.

Les résultats concernant le substrat de nickel montrent qu'environ 2%at.Ni se logent dans la maille du composé 123 après la solidification. Ce niveau de nickel est semblable à ce qui est observé lorsqu'il n'y a pas de sous-couches protectrice entre le nickel et le supraconducteur. La couche de chromate de barium ne réduit donc pas très efficacement la diffusion du nickel vers bain liquide.

Interface et adhérence

L'adhérence du composé supraconducteur était bonne pour la plupart des substrats. Le cuivre ajouté au substrat de chromate de barium a peu d'effets sur l'adhérence mais d'importantes additions

d'erbium au substrat ont pour effet de réduire ou même d'éliminer cette adhérence, en plus d'inhiber la formation de 123. Davantage de liquide peut réagir avec l'erbium présent dans le substrat ce qui réduit la quantité de liquide présent dans le supraconducteur.

Susceptibilité

Il est intéressant de constater que la présence d'un peu de chrome dans le substrat ne provoque pas de réduction appréciable de la température critique de transition T(100%). Il faut cependant souligner que le chrome réduit de façon très importante la température de transition T(30%) et T(10%). Il se peut que cette réduction provienne d'une modification de la cinétique d'oxygénation, occasionnée par la présence du chrome substitué au cuivre Cu^{+2}. Cette hypothèse demeure à vérifier.

Références

1. Gordeev S Y et Serdyukov V I 1967 Inorg. Mater. **3** 1440

Tableau 1. Remarques relatives à l'adhérence.

#	Composition	Adhérence
1	$Ba_1Cr_{0.2}Cu_{0.8}O_x$	-
2	$Ba_1Cr_{0.5}Cu_{0.5}O_x$	-
3	$Ba_1Cr_{0.8}Cu_{0.2}O_x$	**bonne**
4	$Ba_1Cr_{0.9}Cu_{0.1}O_x$	**bonne**
5	$Ba_1Cr_{0.9}Er_{0.1}O_x$	**bonne**
6	$Ba_1Cr_{0.5}Er_{0.5}O_x$	aucune
7	$Ba_1Cr_{0.8}Cu_{0.1}Er_{0.1}O_x$	**bonne**
8	$Ba_3Cr_2O_8$	**bonne**
9	$BaCr_2O_4$	**bonne**
20	NiO/Ni (oxydation)	**excellente**
21	$Ba_1CrCu_{0.16}O_x$/Ni	**bonne**
22	$BaCrO_4$	**bonne**
23	$BaCrCu_{0.16}O_x$	**bonne**
24	$BaCrCu_{0.32}O_x$	**bonne**

Tableau 2. Températures de transition*.

#	Composition	T_c(100%)	T_c(30%)	T_c(10%)
1	$Ba_1Cr_{0.2}Cu_{0.8}O_x$	-	non-traité	-
2	$Ba_1Cr_{0.5}Cu_{0.5}O_x$	-	non-traité	-
3	$Ba_1Cr_{0.8}Cu_{0.2}O_x$	93	82	73
4	$Ba_1Cr_{0.9}Cu_{0.1}O_x$	94	81	73
5	$Ba_1Cr_{0.9}Er_{0.1}O_x$**	91.3	80	50
6	$Ba_1Cr_{0.5}Er_{0.5}O_x$***	92.3	signal très faible	
7	$Ba_1Cr_{0.8}Cu_{0.1}Er_{0.1}O_x$**	92	83	60
8	$Ba_3Cr_2O_8$	92	82.4	78
9	$BaCr_2O_4$	93	87.8	84
20	NiO/Ni (oxydation)	88.8	81.3	79
21	$Ba_1CrCu_{0.16}O_x$/Ni	86.8	71.3	65
22	$BaCrO_4$	89.5	78.5	70
23	$BaCrCu_{0.16}O_x$	89.5	73.4	65
24	$BaCrCu_{0.32}O_x$	88.8	75	65

* Le Tc(100%) correspond à Tc "onset", Tc(30%) correspond à celle pour laquelle il y a 70% de signal supraconducteur et Tc(10%) à celle pour laquelle il y a 90% de signal supraconducteur.

** Le pallier inférieur de la courbe n'a pas été atteint: pour les calculs, le minimum à été posé 15K.

*** La courbe possède un minimum à 40K. Ce minimum a été utilisé pour calculer Tc 10% et Tc 30%.