

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年3月17日(17.03.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/030905 A1

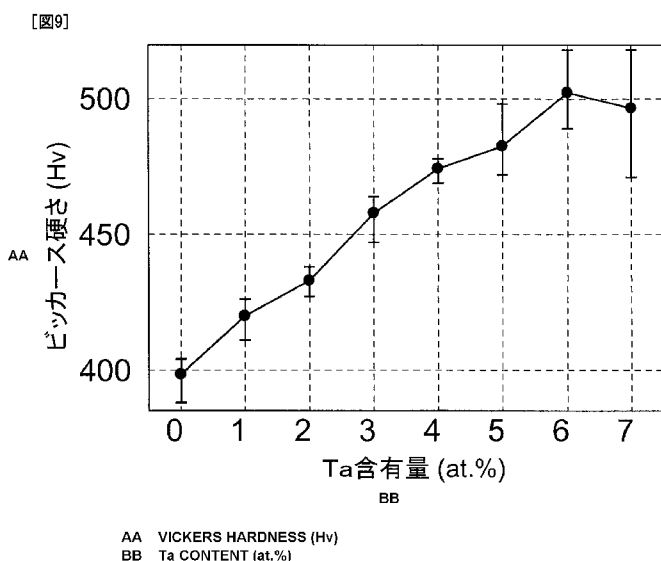
- (51) 国際特許分類: C22C 19/03 (2006.01) C22C 1/00 (2006.01) 3 西天満ファイブビル 野河特許事務所 Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/065839 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (22) 国際出願日: 2010年9月14日(14.09.2010) (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願 2009-212090 2009年9月14日(14.09.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 公立大学法人大阪府立大学 (OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY PUBLIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5998531 大阪府堺市中区学園町1-1 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 金野 泰幸 (KANENO, Yasuyuki) [JP/JP]; 〒5998531 大阪府堺市中区学園町1-1 公立大学法人大阪府立大学内 Osaka (JP). 高杉 隆幸 (TAKASUGI, Takayuki) [JP/JP]; 〒5998531 大阪府堺市中区学園町1-1 公立大学法人大阪府立大学内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 野河 信太郎 (NOGAWA, Shintaro); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満5丁目16-

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: Ni₃(Si, Ti) INTERMETALLIC COMPOUND TO WHICH TA IS ADDED

(54) 発明の名称: Taが添加されたNi₃(Si, Ti)系金属間化合物



(57) Abstract: Disclosed is a structural material which has excellent hardness (strength) characteristics. Specifically disclosed is an Ni₃(Si, Ti) intermetallic compound which is characterized by containing 25-500 ppm by weight (inclusive) of B per the weight of an intermetallic compound, which has a composition that contains 10.0-12.0% by atom (inclusive) of Si, 1.5% by atom or more but less than 7.5% by atom of Ti, and more than 2.0% by atom but 8.0% by atom or less of Ta with the balance made up of Ni and impurities, thereby having a total of 100% by atom. The Ni₃(Si, Ti) intermetallic compound is also characterized by having a structure that is composed of an L₁₂ phase or a structure that is composed of an L₁₂ phase and a second phase dispersant containing Ni and Ta.

(57) 要約: 優れた硬さ(強度)特性を備える構造材料を提供する。本発明によれば、10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上7.5未満原子%のTi、2.0より多く8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL

1₂相と、Ni及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有することを特徴とするNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が提供される。

WO 2011/030905 A1

明 細 書

発明の名称： Taが添加されたNi₃

(Si, Ti)系金属間化合物

技術分野

[0001] この発明は、Taが添加されたニッケル系金属間化合物に関し、特に、Ni₃(Si, Ti)を基本組成とする金属間化合物（以下、「Ni₃(Si, Ti)系金属間化合物」と呼ぶ。）に関する。

背景技術

[0002] ニッケル系金属間化合物であるNi₃Si金属間化合物は、高温強度、耐食性、耐酸化性に優れた特性を有している。しかし、Ni₃Si金属間化合物は、粒界割れを起こしやすいため、常温で、より塑性加工が容易な金属間化合物が求められている。そこで、このNi₃Si金属間化合物を改良する研究開発が進められている。例えば、加工性、特に、常温延性を有する金属間化合物として、ニッケル系金属間化合物であるNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が知られている（例えば、非特許文献1及び2参照）。

このようなNi₃(Si, Ti)系金属間化合物には、例えば、鑄造用ニッケル系金属間化合物として、Ni、Si、Ti、Cを含有し、さらに、Hf及びZrの何れか又は双方を含む金属間化合物が知られており、この金属間化合物が、時計側部材等として良好な鑄造性を示す（ダイキャスト法やロストワックス法に適する）ことが知られている（例えば、特許文献1参照）。

また、耐食性に優れるとともに構造材として十分に満足できる延性、加工性をも兼備したNi₃(Si, Ti)基合金材料として、Ni、Si、Ti、Cu、Ta及びBを含有する金属間化合物が知られている（例えば、特許文献2参照）。この金属間化合物は、TaとCuを複合添加されることにより、良好な延性が確保され、硫酸精製装置等の構造材料として有用とされている。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1：特開平5-320793号公報
特許文献2：特開平5-320794号公報
特許文献3：特開平4-268037号公報
特許文献4：特開平6-33174号公報
特許文献5：特開平4-246144号公報

非特許文献

- [0004] 非特許文献1：T. Takasugi et al., Journal of Materials Science 26, pp. 1173-1178 (1991)
非特許文献2：T. Nakamura et al., Materials Science and Engineering A 383(2004)259-270

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかし、これらのニッケル系金属間化合物が構造材料として用いられる場合、さらに機械的、化学的特性を向上することが望まれる。例えば、ニッケル系金属間化合物で形成される構造物が精密鑄造法のほか、例えば塑性加工で製造される場合、延性等の加工性の向上が望まれる。また、ニッケル系金属間化合物が酸を扱う装置に用いられる場合、化学的特性も維持することが望まれる。このため、十分な化学的特性や機械的特性（例えば、延性）を備えるニッケル系金属間化合物が望まれている。また、高温で用いられる機械要素の構造材料の場合、前述のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物と同様の延性を維持しつつ、さらに優れた硬さ（強度）特性を備える材料が求められている。さらに、摺動部品の構造材料の場合、優れた耐摩耗性を備える材料が求められている。
- [0006] この発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、十分な化学的特性や機械的特性を備えるニッケル系金属間化合物を提供するものである。また、この発明は優れた硬さ（強度）特性を備える構造材料を提供し、さらに

、優れた耐摩耗性を備える構造材料を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0007] この発明によれば、10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上7.5未満原子%のTi、2.0より多く8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有し、L1₂相からなる組織、又はL1₂相と、Ni及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有することを特徴とするNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が提供される。

発明の効果

[0008] この発明の発明者らは、Ni₃(Si, Ti)中のTiが耐酸化性を劣化させる要因となっていることを勘案して、Tiに代えて高融点金属元素を添加することを発案し、この案について鋭意研究を行った。その結果、Ni, Si, Ti及びBに加え、さらにTaを含むNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が、Ni, Si及びTiからなる金属間化合物よりも優れた硬さ（強度）を備えることを見出し、この発明の完成に到った。この発明のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、優れた硬さ（強度）を備えるので、機械要素などの構造材料に好適に用いることができる。

以下、この発明の一実施形態を説明する。以下の記述中で示す構成は、例示であって、この発明の範囲は、以下の記述中で示すものに限定されない。なお、この明細書において、「～」は、端の点を含む。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施例試料2のSEM写真である。

[図2]実施例試料2のX線回折プロファイルである。上段が比較例試料の一例であるHf添加試料（参考試料）のX線回折プロファイルであり、下段が実施例試料2のX線回折プロファイルである。

[図3]実施例試料2のEPMA元素マッピング図である。

[図4]実証実験1におけるビッカース試験の結果であり、ビッカース硬さとTaの含有量との関係を示したグラフである。

[図5]比較例試料及び実施例試料のSEM写真である。

[図6]比較例試料及び実施例試料1～7のX線回折プロファイルである。

[図7]実施例試料7のX線回折プロファイルを拡大した図である。

[図8]実施例試料7のEPMA元素マッピング図である。

[図9]実証実験2のビッカース硬さ試験の結果を示すグラフであり、ビッカース硬さとTaの含有量との関係を示したグラフである。

[図10]Taの含有量とビッカース硬さ及び格子定数との関係を示したグラフである。

[図11]比較例試料並びに実施例試料2, 4及び7の高温におけるビッカース硬さの変化を示すグラフである。

[図12]試料のTa含有量と引張強度 (Tensile Strength)、0.2%耐力 (0.2% Proof Stress) 及び伸び (Elongation) の関係を示すグラフである。

[図13]引張試験後の比較例試料並びに実施例試料5及び7の破断面を示す写真である。

[図14]比較例試料並びに実施例試料2, 4及び7の耐酸化性試験による質量増加量と時間との関係を示すグラフである。

[図15]ピンオンディスク式摩耗試験を説明するための概念図である。

[図16]比較例試料を1としたときの、比較例試料並びに実施例試料2, 4及び7の耐摩耗比を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] この発明のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、1つの観点に従うと、主成分であるNi、7.5～12.5原子%のSi、1.5～10.5原子%のTi及び1.0～10.0原子%のTaを含む合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25～500重量ppmのBを含有することを特徴とする。

[0011] この発明によれば、優れた硬さ(強度)を備えるNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が提供される。

[0012] また、この発明の実施形態において、上記発明の構成に加え、室温から800°Cの温度範囲におけるビッカース硬さが410~520であってもよい。ここで、前記ビッカース硬さは、荷重300g、500g又は1kgで測定される。

また、この発明の実施形態において、主成分であるNi、10.0~12.0原子%のSi、1.5~9.5原子%のTi及び1.0~9.0原子%のTaを含む合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。または、主成分であるNi、10.0~12.0原子%のSi、2.5~8.5原子%のTi及び1.0~7.0原子%のTaを含む合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。

また、この発明の実施形態において、主成分であるNi、10.0~12.0原子%のSi、2.5~6.5原子%のTi及び3.0~7.0原子%のTaを含む合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。

さらに、この発明の実施形態において、主成分であるNi、10.0~12.0原子%のSi並びにTi及びTaが合計で9.0~11.5原子%を含む合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。

[0013] また、この発明のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、別の観点に従うと、10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上7.5未満原子%のTi、2.0より多く8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL₁₂相

と、Ni及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有することを特徴とする。

[0014] この発明によれば、硬さ（強度）に優れ、耐摩耗性を備えるNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が提供される。

なお、この発明は、10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上7.5未満原子%のTi、2.0より多く8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有し、L1₂相からなる組織、又はL1₂相と、Ni及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有する摺動部品用Ni₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよく、前記組成及び組織を有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物の摺動部品材料（又は、耐摩耗性金属材料）としての使用であってもよい。また、前記組成の材料を溶解し、鑄造して摺動部品を形成する方法であってもよいし、Ni₃(Si, Ti)系金属間化合物を鑄造し、鑄造されたNi₃(Si, Ti)系金属間化合物で摺動部品を形成する方法であってもよい。例えば、摺動部品は、鑄造されたNi₃(Si, Ti)系金属間化合物を切削して形成する。

[0015] また、この発明の実施形態において、10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上5.5以下原子%のTi、4.0以上8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。また、10.0以上12.0以下原子%のSi、2.5以上5.5以下原子%のTi、4.0以上7.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。

[0016] これらの実施形態によれば、より硬さに優れ、より摩耗に強いNi₃(Si, Ti)系金属間化合物が提供される。

[0017] また、この発明の実施形態において、10.0以上12.0以下原子%の

S_i、2.5以上6.5以下原子%のT_i、3.0以上7.0以下原子%のT_a、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL₁₂相とNi及びT_aを含む第2相分散物とからなる組織を有するNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物であってもよい。また、10.0~12.0原子%のS_i、並びに合計で9.0~11.5原子%のT_i及びT_a、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有するNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物であってもよいし、また、荷重300g、500g又は1kgで測定したビッカース硬さが410~520であってもよい。ここで、このビッカース硬さは、室温(約25°C)で測定されてもよい。

[0018] これらの実施形態によれば、より硬さに優れるNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物が提供される。

[0019] また、この発明のNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物は、さらに別の観点に従うと、10.0以上12.0以下原子%のS_i、1.5以上7.5未満原子%のT_i、2.0より多く8.0以下原子%のT_a、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL₁₂相と、Ni及びT_aを含む第2相分散物とからなる組織を有するNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物であって、T_a最大含有量が6.0原子%であることを特徴とする。

[0020] この発明によれば、延性又は耐酸化特性に優れるNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物が提供される。

[0021] また、これらの発明のNi₃(S_i, T_i)系金属間化合物において、合計で19.0~21.5原子%のS_i、T_i及びT_a、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有する形態であってもよい。

[0022] このような形態であれば、Niの含有量がほぼ78.5～81.0原子%となるので、実質的にL1₂相のみからなる組織、又は、実質的にL1₂相と、Ni及びTaを含む第2相分散物とのみからなる組織が形成される。このため、硬さに優れるとともに、耐摩耗性、延性又は耐酸化特性に優れる。

以下、これらの実施形態の各元素について詳述する。なお、この明細書において「～」の記載は、特に記載がない限り、数値範囲の両端を含む。

[0023] Niの含有量は、例えば、78.5～81.0原子%であり、好ましくは、78.5～80.5原子%である。Niの具体的な含有量は、例えば、78.5, 79.0, 79.5, 80.0, 80.5又は81.0原子%である。Niの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

[0024] Siの含有量は、7.5～12.5原子%であり、好ましくは、10.0～12.0原子%である。Siの具体的な含有量は、例えば、7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0又は12.5原子%である。Siの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

[0025] Tiの含有量は、1.5～10.5原子%であり、好ましくは、1.5～9.5原子%である。より好ましくは、2.5～6.5原子%である。Tiの具体的な含有量は、例えば、1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0又は10.5原子%である。Tiの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

また、硬さ及び耐摩耗性の観点から、好ましくは、1.5以上7.5未満原子%、より好ましくは、1.5～5.5原子%であり、さらに好ましくは、2.5～5.5原子%である。これらの範囲であれば、硬さ及び耐摩耗性に優れる。

[0026] Taの含有量は、1.0～10.0原子%であり、好ましくは、1.0～9.0原子%である。より好ましくは、3.0～7.0原子%である。Ta

の具体的な含有量は、例えば、1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5又は10.0原子%である。T_aの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

また、硬さ及び耐摩耗性の観点から、好ましくは、2.0より多く8.0以下原子%、より好ましくは、4.0～8.0原子%であり、さらに好ましくは、4.0～7.0原子%である。これらの範囲であれば、硬さ及び耐摩耗性に優れる。

[0027] また、T_i及びT_aの含有量は、T_i及びT_aが合計で9.0～11.5原子%であってもよい。例えば、T_i及びT_aの含有量の合計は、9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0又は11.5原子%である。T_i及びT_aの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

[0028] また、S_i, T_i及びT_aは、合計で19.0～21.5原子%であり、好ましくは、19.5～21.5原子%である。

[0029] 上記各元素の含有量は、N_i, S_i, T_i及びT_aの含有量の合計が100原子%になるように適宜調整される。

[0030] Bの含有量は、25～500重量ppm、好ましくは、25～100重量ppmである。Bの具体的な含有量は、例えば、25, 40, 50, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400又は500重量ppmである。Bの含有量の範囲は、ここで例示した数値の何れか2つの間であってもよい。

[0031] この発明の実施形態に係る金属間化合物の具体的な組成は、例えば、表1～3に示す組成に上記含有量のBを添加したものである。

[0032]

[表1]

N i 原子%	S i 原子%	T i 原子%	T a 原子%
78.5	10.5	7.5	3.5
78.5	10.5	6.0	5.0
78.5	10.5	4.5	6.5
78.5	11.5	9.0	1.0
78.5	11.5	8.0	2.0
78.5	11.5	7.0	3.0
78.5	11.5	6.0	4.0
78.5	11.5	5.0	5.0
78.5	11.5	4.0	6.0
78.5	11.5	3.0	7.0
78.5	12.5	7.5	1.5
78.5	12.5	6.0	3.0
78.5	12.5	4.5	4.5

[0033] [表2]

N i 原子%	S i 原子%	T i 原子%	T a 原子%
79.5	9.5	7.5	3.5
79.5	9.5	6.0	5.0
79.5	9.5	4.5	6.5
79.5	11.0	8.5	1.0
79.5	11.0	7.5	2.0
79.5	11.0	6.5	3.0
79.5	11.0	5.5	4.0
79.5	11.0	4.5	5.0
79.5	11.0	3.5	6.0
79.5	11.0	2.5	7.0
79.5	11.5	7.0	2.0
79.5	11.5	6.0	3.0
79.5	11.5	5.5	3.5

[0034] [表3]

N i 原子%	S i 原子%	T i 原子%	T a 原子%
81.0	8.0	7.5	3.5
81.0	8.0	6.0	5.0
81.0	8.0	7.5	3.5
81.0	9.5	8.5	1.0
81.0	9.5	7.5	2.0
81.0	9.5	6.5	3.0
81.0	9.5	5.5	4.0
81.0	9.5	4.5	5.0
81.0	9.5	3.5	6.0
81.0	9.5	2.5	7.0
81.0	10.0	7.5	1.5
81.0	10.0	6.5	2.5
81.0	10.0	5.5	3.5

[0035] なお、この実施形態に係るNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、実質的にNi、Si、Ti、B及びTaの元素からなってもよく、これ以外の不純物元素を含んでいてもよい。例えば、上記不純物元素は不可避免的不純物であり、実質的にNi、Si、Ti、B及びTaの元素のみからなるNi₃(Si, Ti)系金属間化合物であってもよい。

[0036] この発明の一実施形態に係るNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、上記実施形態で示した割合の、Ni、Si、Ti及びTaの金属を、加熱することにより溶解し、この溶湯を冷却することにより凝固することで得られる。なお、凝固により得られたNi₃(Si, Ti)系金属間化合物に均質化熱処理を行ってもよい。この処理により、元素の偏析をなくし、組織を均一にすることができる。

また、この実施形態に係るNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、荷重300gで測定したビッカース硬さが410~520であってもよい。この発明の実施形態によれば、このようなビッカース硬さのNi₃(Si, Ti)系金属間化合物を得ることができる。

[0037] 次に、効果実証実験について説明する。

〔実証実験1〕

(金属間化合物の作製)

(1) 鑄塊試料作製工程

表4は、実証実験1で作製した7種類の金属間化合物の組成、および比較のために作製した金属間化合物の組成を示した表である。表4に記載しているように、この実証実験1では、Ti及びTaの合計含有量が一定となるように、これらの金属間化合物の組成を定めた。ここで、比較のために作製した金属間化合物は、特許文献1に開示されている金属間化合物である。

[0038]

[表4]

	Ni at. %	Si at. %	Ti at. %	Ta at. %	B wt. ppm	備考 試料の略称
比較例試料	79.5	11.0	9.5	—	50	Unalloyed、又はOTa
実施例試料1	79.5	11.0	8.5	1.0	50	1Ta
実施例試料2	79.5	11.0	7.5	2.0	50	2Ta
実施例試料3	79.5	11.0	6.5	3.0	50	3Ta
実施例試料4	79.5	11.0	5.5	4.0	50	4Ta
実施例試料5	79.5	11.0	4.5	5.0	50	5Ta
実施例試料6	79.5	11.0	3.5	6.0	50	6Ta
実施例試料7	79.5	11.0	2.5	7.0	50	7Ta

[0039] まず、表4に示した8種類の組成になるようにそれぞれの金属（それぞれの純度は99.9重量%以上）及びBを秤量した。次いで、これらの秤量された金属及びBをアーク溶解炉で溶解、鑄造して、約130gの重さの鑄塊を作製した。アーク溶解炉の雰囲気は、溶解室内を真空排気し、その後不活性ガス（アルゴンガス）に置換した。電極は、非消耗タングステン電極を用い、鑄型には水冷式銅ハースを使用した。

[0040] (2) 均質化熱処理工程

次いで、上記鑄塊を均質化するために、真空中で48時間、1050℃で保持する均質化熱処理工程を行った。以上により、試料を作製した。

[0041] なお、Taを含む試料が本発明の実施例であり、例えば、Taの含有量が2at.%の場合、「実施例試料2」というように、以下、「実施例試料」Taの含有量を示す数字を付して呼ぶ。また、Taを含んでいない試料を「比較例試料」と呼ぶ。

[0042] 次に、評価方法及び評価結果について説明する。

(1) 組織観察

まず、上記のようにして作製した実施例試料について、組織のSEM写真の撮影を行った。図1にその写真を示す。図1は実施例試料2のSEM写真である。

[0043] 図1を参照すると、実施例試料2は、粒径が数百ミクロンの結晶粒で構成される単相組織を呈していることがわかる。なお、この実施例試料2のビッカース硬さは、434Hvであった。

[0044] 次に、実施例試料について、組織中の構成相を同定するためX線測定を行った。図2にその結果を示す。図2は、実施例試料2のX線回折プロファイルである。参考として、 $Ni_{77.5}Si_{11.0}Ti_{9.5}Hf_{2.0} + 50wt. ppm$ (B以外はat. %である。以下「Hf添加試料」と呼ぶ。)のX線回折プロファイルも同時に示す。上段がHf添加試料のX線回折プロファイルであり、下段が実施例試料2のX線回折プロファイルである。なお、図の中の点は、既知の材料である $Ni_3(Si, Ti)$ (比較例試料)、 Ni_3Hf 、 Ni_5Hf のプロファイルのピーク位置である。● (円形状) の点が $Ni_3(Si, Ti)$ の、△ (三角形状) の点が Ni_3Hf の、□ (四角形状) の点が Ni_5Hf の、プロファイルのピーク位置である。また、ここに示したHf添加試料は、実施例試料と同じ方法で作製している。

[0045] 図2を参照すると、実施例試料2のX線回折プロファイルは、 $Ni_3(Si, Ti)$ のプロファイルのピーク位置と一致していることがわかる。実施例試料2は、単相組織であることからすると、この結果から、実施例試料2の構成相は、 $L1_2$ 相であると同定できる。

なお、Hf添加試料は、 $Ni_3(Si, Ti)$ のほか、 Ni_3Hf 、 Ni_5Hf のプロファイルのピーク位置とそのプロファイルが一致していた。Hf添加試料は、実施例試料2と異なり、 Ni_3Hf 、 Ni_5Hf の相が分散していた。

[0046] さらに、実施例試料について、組織分析のためにEPMA測定も行った。図3にその結果を示す。図3は、実施例試料2のEPMA元素マッピング図である。図3の左上の図がSEM写真、右上の図がNiのマッピング図、中央左の図がSiのマッピング図、中央右の図がTiのマッピング図、左下の図がTaのマッピング図、右下の図がBマッピング図である。

[0047] 図3に示されるように、Niのマッピングをはじめ、どの元素のマッピングでも組織全体にわたり均一な組成となっていることがわかる。なお、このEPMA測定で点分析を行ったところ、表5に示すように、ほぼ秤量されたとおりの組成であった。

[0048]

[表5]

	Ni at. %	Si at. %	Ti at. %	Ta at. %	B at. %
実施例試料2	78.9	11.6	7.7	1.8	0.0

[0049] (2) ビッカース硬さ試験

次に、各試料についてビッカース硬さ試験を行った。ビッカース硬さ試験は、室温で、各試料に正4角錐のダイヤモンド製圧子を押し込むことによつて行った。この試験では、荷重は300gを主として用い、保持時間は20秒とした。図4にその結果を示す。図4は、ビッカース硬さとTaの含有量との関係を示したグラフである。横軸はTaの含有量であり、最も左の測定点が比較例試料、その他の測定点の実施例試料に対応している。

[0050] 図4を参照すると、実施例試料はいずれも比較例試料以上のビッカース硬さを有していることがわかる。比較例試料のNi₃(Si, Ti)にTaを含有させると、試料の硬さが増し、Taの含有量が増すに従いビッカース硬さの値も増していることがわかる。

[0051] 以上の実証実験1から、実施例試料が比較例試料よりも優れた硬さ(強度)特性を備えることが実証された。

[0052] [実証実験2]

さらに、実証実験1と同じ組成(上記表4と同じ組成)の試料を実証実験と同じ方法で作製し、(1)組織観察、(2)室温ビッカース硬さ試験、(3)高温ビッカース硬さ試験、(4)室温引張試験、(5)耐酸化性試験、(6)摩耗試験を行った。

[0053] (1) 組織観察

まず、作製された実施例試料について、組織のSEM写真の撮影を行った。図5にその写真を示す。図5は比較例試料及び実施例試料のSEM写真であり、図5の(1)が比較例試料、(2)が実施例試料5、(3)が実施例試料6、(4)が実施例試料7のSEM写真である。また、図5の(5)は実施例試料7の第2相を拡大したSEM写真である。

[0054] 図5を参照すると、実証実験1の図1と同様に、比較例試料及び実施例試

料5が単相組織であることがわかる。これらの試料と他の実施例試料の観察から、T aの含有量が5.0at.%まではT aが固溶して単相組織を形成することがわかった。

[0055] また、図5を参照すると、実施例試料6及び7は、母相（マトリックス）である第1相の組織中に第2相が分散していることがわかる。すなわち、実施例試料6及び7は、第1相と第2相で構成され、第1相に第2相が分散していることがわかる。T aの含有量が6.0at.%になると（実施例試料6）、微量の板状の第2相が観察され（その形状は図5（5）参照）、さらにT aの含有量が7.0at.%になると（実施例試料7）、第2相の体積率（組織中で第2相が占める割合）が増加する現象が観察された。また、第2相が出現すると第2相の影響で、L₁₂相の結晶粒径がやや小さくなることも観察された。

[0056] 次に、これら実施例試料について、組織中の構成相を同定するためX線測定を行った。図6及び図7にその結果を示す。図6は、比較例試料及び実施例試料1～7のX線回折プロファイルである。図6において、▼（逆三角形）の点が、既知の材料であるNi₃(Si, Ti)（この材料はL₁₂相からなる）のプロファイルのピーク位置を示す点であり、その上の数値は、その回折結晶面の面指数である。また、図7は、実施例試料7のX線回折プロファイルを拡大した図であり、実施例試料7の相を同定するために図6とは別に測定したものである。図7において、図6と同様に▼（逆三角形）の点が、Ni₃(Si, Ti)のプロファイルのピーク位置を示す点である。また●（円形状）の点がNi₃Taのプロファイルのピーク位置を示す点である。

[0057] 図6を参照すると、各試料のX線回折プロファイルがNi₃(Si, Ti)のプロファイルのピーク位置と一致しており、これらの試料がL₁₂相で構成されていることがわかる。この結果に上記SEM観察結果（図5）もあわせて考慮すると、比較例試料及び実施例試料2～5の単相組織がL₁₂相であり、実施例試料6及び7の母相（第2相の間を占める第1相）もL₁₂相であることがわかる。

[0058] また、図7を参照すると、実施例試料7のX線回折プロファイルがNi₃(Si, Ti)のほか、Ni₃Taのプロファイルのピーク位置と一致していることがわかる。この結果から、実施例試料7が、L₁₂相(第1相)とNi₃Taの第2相(Ni及びTaを含む相)とで構成されていることがわかる。この結果から、図5で観察された第2相がNi₃Taであることが同定された。

なお、この測定において、Ni₃(Si, Ti)及びNi₃Taのプロファイルにおけるピーク位置以外の位置で、明確なピークは観察されず、実施例試料7は実質的にL₁₂相とNi₃Taの第2相とのみからなることがわかった。

[0059] 次に、比較例試料及び各実施例試料についてEPMA測定を行った。図8にその結果を示す。図8は、実施例試料7のEPMA元素マッピング図である。図8の(1)がSEM写真(左上の図)、(2)がNiのマッピング図(中央上の図)、(3)がSiのマッピング図(右上の図)、(4)がTiのマッピング図(中央下の図)、(5)がTaのマッピング図(右下の図)である。

[0060] 図8の(1)から明らかなように、このEPMAの測定領域には第1相と第2相が含まれているが、図8の各図を参照すると、それぞれの相に含有されている元素の量が異なることがわかる。例えば、Ni, Si及びTaの含有量は2つの相の間でその含有量が異なり、Tiの含有量であまり違いがないことがわかる。

[0061] また、実施例試料7のほか、各試料についてもEPMA測定を行い、その母相(第1相)について点分析を行った。その結果を表6に示す。

[0062] [表6]

	Ni at. %	Si at. %	Ti at. %	Ta at. %
比較例試料	79.56	10.96	9.28	—
実施例試料1	79.46	11.16	8.46	0.92
実施例試料2	79.58	11.10	7.36	1.96
実施例試料3	79.91	11.24	5.99	2.86
実施例試料4	79.52	10.92	5.58	3.98
実施例試料5	79.27	11.57	4.35	4.81
実施例試料6	79.95	11.49	2.95	5.60
実施例試料7	79.67	12.07	2.54	5.72

[0063] 表6を参照すると、実施例試料6及び7における母相（第1相）のTa含有量は5.6～5.7at.%であり、母相（第1相）のTa含有量の上限は、5～6at.%であることがわかる。この結果及び図5から、Ni₃(Si, Ti)合金のTaの固溶限は5～6at.%であることがわかる。

[0064] (2) 室温ビッカース硬さ試験

次に、実証試験1と同様に各試料についてビッカース硬さ試験を行った。ビッカース硬さ試験の条件は、荷重1kgで、保持時間20秒とした（室温約25℃）。図9にその結果を示す。図9は、実証実験2のビッカース硬さ試験の結果を示すグラフであり、ビッカース硬さとTaの含有量との関係を示したグラフである。各軸は、実証実験1と同じである。

[0065] 図9を参照すると、Taの含有量が6.0at.%を超えるまで、ほぼTaの含有量の増加とともにビッカース硬さの値が増加し、Taの含有量が6.0at.%を超えると、ビッカース硬さの値は、あまり上昇せず、ほぼ一定となることがわかる。表6のEPMA測定の結果から、固溶限を超えると母相中のTaの含有量がほぼ一定となることがわかったが、このビッカース硬さ試験の結果は母相中のTaの含有量がほぼ一定となり、固溶強化がこれ以上進まないことによるものと考えられる。

[0066] また、ビッカース硬さと格子定数との相関関係も調べた。表7及び図10にその結果を示す。表7は、各試料の格子定数を示す表であり、図10は、Taの含有量とビッカース硬さ及び格子定数との関係を示したグラフである。表7及び図10に示す格子定数は、L₁₂相の結晶格子の格子定数であり、図6のX線測定結果（比較例試料及び各実施例試料のX線回折プロファイル）から算出した。

[0067]

[表7]

試料	(略称)	格子定数
比較例試料	0Ta	0.3558
実施例試料1	1Ta	0.3560
実施例試料2	2Ta	0.3561
実施例試料3	3Ta	0.3561
実施例試料4	4Ta	0.3563
実施例試料5	5Ta	0.3564
実施例試料6	6Ta	0.3567
実施例試料7	7Ta	0.3570

※単位: nm

[0068] 表7及び図10を参照すると、ビッカース硬さの上昇に応じて格子定数が大きくなる傾向にあることがわかる。すなわち、 L_{12} 相にTaが固溶すると格子ひずみが生じ、このTaの固溶強化によって硬さが上昇したものと考えられる。

[0069] (3) 高温ビッカース硬さ試験

次に、各試料について、高温（300℃、500℃、600℃及び800℃）でビッカース硬さ試験を行った。ビッカース硬さ試験は、荷重1kg、保持時間20秒で行い、還元雰囲気中（Ar+約10% H_2 ）にて毎分10℃で昇温させて測定した。図11に、上記室温ビッカース硬さ試験の結果とともにその結果を示す。図11は、各試料の高温におけるビッカース硬さの変化を示すグラフであり、比較例試料並びに実施例試料2、4及び7について、そのビッカース硬さの変化を示している。図11において（1）が比較例試料、（2）が実施例試料2、（3）が実施例試料4、（4）が実施例試料7のビッカース硬さを示している。

[0070] 図11を参照すると、すべての温度領域で比較例試料よりも実施例試料2、4及び7のほうが硬いことがわかる。この結果から、 $Ni_3(Si, Ti)$ 合金にTaを含有させることにより、すべての温度領域で合金の硬さを向上させることができることがわかる。

なお、これらの試料のビッカース硬さは、実施例試料2が800℃で約410Hv、実施例試料7が300℃で約520Hvであり、これらの試料は、室温及び上記高温の温度範囲で、約410Hv～約520Hvのビッカース

ス硬さであった。

[0071] また、図 1 1 を参照すると、すべての合金が硬さの逆温度依存性を示すことがわかる。すなわち、これらの合金は、温度が上昇するとその硬さが逆に上昇する性質を備えていることがわかる。通常の合金は、温度が上昇するとともにビッカース硬さの値が小さくなるが、実施例試料は、比較例試料同様に、特異的な性質を示している。

[0072] さらに、800°Cでの軟化量を比較すると、実施例試料 2 及び 4 よりも実施例試料 7 のほうがその軟化量が大きいことがわかる。この結果から、L1₂ 単相組織のほうが、第 2 相をもつ組織（2 相組織）よりも高温硬さ特性が優れることがわかる。

[0073] （4）室温引張試験

次に、各試料について、引張試験を行った。引張試験は、ゲージ部が 10 × 2 × 1 mm³の試験片を用いて、室温、真空中、歪み速度 1.66 × 10⁻⁴ s⁻¹の条件で行った。その結果を図 1 2 に示す。図 1 2 は、試料の Ta 含有量と引張強度（Tensile Strength）、0.2%耐力（0.2% Proof Stress）及び伸び（Elongation）の関係を示すグラフである。図 1 2 において、横軸が各試料の Ta 含有量（at. %）を示し、縦軸左が引張強度又は 0.2%耐力（MPa）、縦軸右が伸び（%）を示している。

[0074] 図 1 2 を参照すると、比較例試料よりも実施例試料 1～7 のほうが引張強度及び 0.2%耐力ともに優れていることがわかる。この結果から、Ni₃（Si, Ti）合金に Ta を含有させることにより、合金の引張強度及び 0.2%耐力を向上させることができることがわかる。この合金に Ta を含有させることにより、最大で約 200 MPa、引張強度及び 0.2%耐力が向上した。

[0075] また、図 1 2 を参照すると、比較例試料及び実施例試料 1～6 は、ともに約 30%の伸びを維持していることがわかる。例えば、特許文献 2（特開平 5-320794）に記載の Ni₃（Si, Ti）合金は、その伸びが 1～6

%又は12～24%であり、このような従来の金属間化合物と比較しても、これらの合金が機械要素の構造材料として十分な延性を備えることがわかる。一方、実施例試料7は、実施例試料1～6と比べて0.2%耐力が向上するものの、引張強度及び伸びが低下していることがわかる。

この結果から、(1) $Ni_3(Si, Ti)$ 合金にTaを含有させることにより、合金の伸びはやや減少するものの、約30%の伸びを維持すること、及び(2) Ta含有量が7at.%に達すると、引張強度及び伸びが低下すること、が明らかとなった。

[0076] 次に、上記引張試験後、各試料について、その破断面を観察した。図13にその結果を示す。図13は、引張試験後の比較例試料並びに実施例試料5及び7の破断面を示す写真であり、図13の(1)が比較例試料、(2)が実施例試料5、(3)が実施例試料7、の破断面を示している。

[0077] 図13を参照すると、比較例試料がディンプル状の延性破面を呈し、実施例試料5でもディンプル状の破壊形態であるものの、それらの凹凸は浅い破面を呈していることがわかる。また、実施例試料7では特有な結晶面で破断する脆性的な破面を呈する領域が多いことがわかる。この観察から、 $Ni_3(Si, Ti)$ 合金にTaを含有させると、破壊形態が変化するものの、伸びが維持された状態で引張強度が向上することがわかった。また、Ta含有量が7at.%に達すると、さらに破壊形態が変化し、引張強度が低下することがわかった。これは第2相の影響と考えられる。

[0078] (5) 耐酸化性試験

次に、各試料について耐酸化性試験を行った。耐酸化性試験は、TG-DTA (Thermogravimetry - Differential Thermal Analysis) によって行った。具体的には、900°Cで大気暴露したときの、試料の単位表面積当たりの質量増加量を測定することによって行った。図14にその結果を示す。

図14は、比較例試料並びに実施例試料2, 4及び7の耐酸化性試験による質量増加量と時間との関係を示すグラフであり、比較例試料、実施例試料

2、実施例試料4及び実施例試料7の耐酸化性試験結果を示している。

[0079] 図14を参照すると、比較例試料よりも実施例試料2及び4のほうが、酸化による質量増加量が小さいことがわかる。例えば、1000分を越えると、実施例試料4、実施例試料2、比較例試料、実施例試料7、の順で質量増加量が小さくなっている。実施例試料2及び4が単相組織である事実から、Ni₃(Si, Ti)合金にTaを含有させて単相組織を形成させると、耐酸化性が向上することがわかる。

[0080] (6) 摩耗試験

次に、各試料について摩耗試験を行った。この実証実験2で行った摩耗試験は、ピンオンディスク式摩耗試験であり、その試験方法を図15に示す。

図15は、ピンオンディスク式摩耗試験を説明するための概念図である。

[0081] 図15に示すように、ピンオンディスク式摩耗試験は、ディスク2上に評価対象のピン2を配置し、ピン2の一端から荷重を加えた状態で、ピン2の他端をディスク2のすべり面(図15の上面)に接触させるとともに、ディスク2を回転させて、ピンの耐摩耗性を評価する試験である。ディスクには、超硬(G5)を用い、ピン2は各試料で円柱状に形成した。具体的には、高さが15mm(図15に示すH)、直径が5mm(図15に示すD)の円柱状のピン2をディスクの中心から15mmの距離(図15に示すX)に配置して試験を行った。ピンオンディスク式摩耗試験は、室温(約25℃)、大気雰囲気中で、荷重100N、回転数300rpm、試験時間30分、総すべり距離1413.7mの条件で行った。試験は潤滑油を採用しない乾燥摩耗試験とした。耐摩耗性は、上記総すべり距離後のピンの質量及び体積の減少量で評価した。表8にその結果を示す。

[0082] 表8は、各試料の摩耗による、摩耗量、摩耗体積減少率及び耐摩耗比を示す表である。ここで、表8において、摩耗量(Wear mass loss)は、摩擦試験によるピンの質量減少量を示し、摩耗体積減少率(Wear volume loss rate)は、すべり距離に対するピンの体積減少量(単位距離当たりのピンの体積減少量)を示している。また、耐摩

耗比は、比較例試料を1としたときの各試料の耐摩耗性の良否を示す比（指標）である。

[0083] [表8]

試料	摩耗量 (Wear mass loss) 単位:g	摩耗体積減少率 (Wear volume loss rate) 単位: $10^{-3} \text{mm}^3/\text{m}$	耐摩耗比 (比較例試料を1とした 場合)
比較例試料	0.11208	9.88	1.00
実施例試料2	0.10771	9.17	1.08
実施例試料4	0.07878	6.35	1.56
実施例試料7	0.07804	5.94	1.66

[0084] また、表8の耐摩耗比の結果を図16に示す。図16は、各試料の耐摩耗比を示すグラフである。ここで、耐摩耗比は、表8の各試料の摩耗体積減少量を比較例試料のそれで割って得た値の逆数であり、この値が大きいほど耐摩耗性に優れることを意味する。

[0085] 図16を参照すると、 $\text{Ni}_3(\text{Si}, \text{Ti})$ 合金にTaを含有させることにより、室温における合金の耐摩耗性が向上することがわかる。特にTa含有量が4at.%以上で合金の耐摩耗性が顕著に向上している。室温における合金の耐摩耗性は、硬さに大きく依存しているものと考えられるが、図16の結果から、Ta含有量が2at.%より多く4at.%以下の範囲で、耐摩耗性が大きく変化することがわかる。

[0086] 以上の実証実験2から、実証実験1と同様に、実施例試料が比較例試料よりも優れた硬さ（強度）特性を備えることが実証された。また、この実証実験2により、実施例試料が高温においても比較例試料より優れた硬さ（強度）特性を備え、特に単相組織の場合、引張強度や耐酸化特性に優れることが実証された。さらに、Ta含有量が2at.%より多い場合に耐摩耗性に優れることも実証された。

産業上の利用可能性

[0087] この $\text{Ni}_3(\text{Si}, \text{Ti})$ 系金属間化合物は、常温において、優れた硬さを示すとともに、耐摩耗性に優れるので、この発明によれば、擦動部品に適した $\text{Ni}_3(\text{Si}, \text{Ti})$ 系金属間化合物が提供できる。また、この発明の Ni_3

(Si, Ti)系金属間化合物は、従来のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物と同等又はそれ以上の延性を維持するので、この発明によれば、機械構造物としての特性に優れるNi₃(Si, Ti)系金属間化合物を提供することができる。

また、このNi₃(Si, Ti)系金属間化合物は、常温のみならず、高温においても優れた硬さを維持するので、高温用の機械要素の材料にとっても有用であり、また、耐酸化特性にも優れるので、酸化しやすい高温環境でより有用である。

請求の範囲

- [請求項1] 10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上7.5未満原子%のTi、2.0より多く8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL₁₂相と、Ni及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有することを特徴とするNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。
- [請求項2] 室温から800°Cの温度範囲におけるビッカース硬さが410~520である請求項1に記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。
- [請求項3] 10.0以上12.0以下原子%のSi、1.5以上5.5以下原子%のTi、4.0以上8.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有する請求項1又は2に記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。
- [請求項4] 10.0以上12.0以下原子%のSi、2.5以上5.5以下原子%のTi、4.0以上7.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有する請求項1~3のいずれか一つに記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。
- [請求項5] 10.0以上12.0以下原子%のSi、2.5以上6.5以下原子%のTi、3.0以上7.0以下原子%のTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有し、L₁₂相からなる組織、又はL₁₂相とNi及びTaを含む第2相分散物とからなる組織を有することを特徴とするNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。
- [請求項6] 10.0~12.0原子%のSi、並びに合計で9.0~11.5原

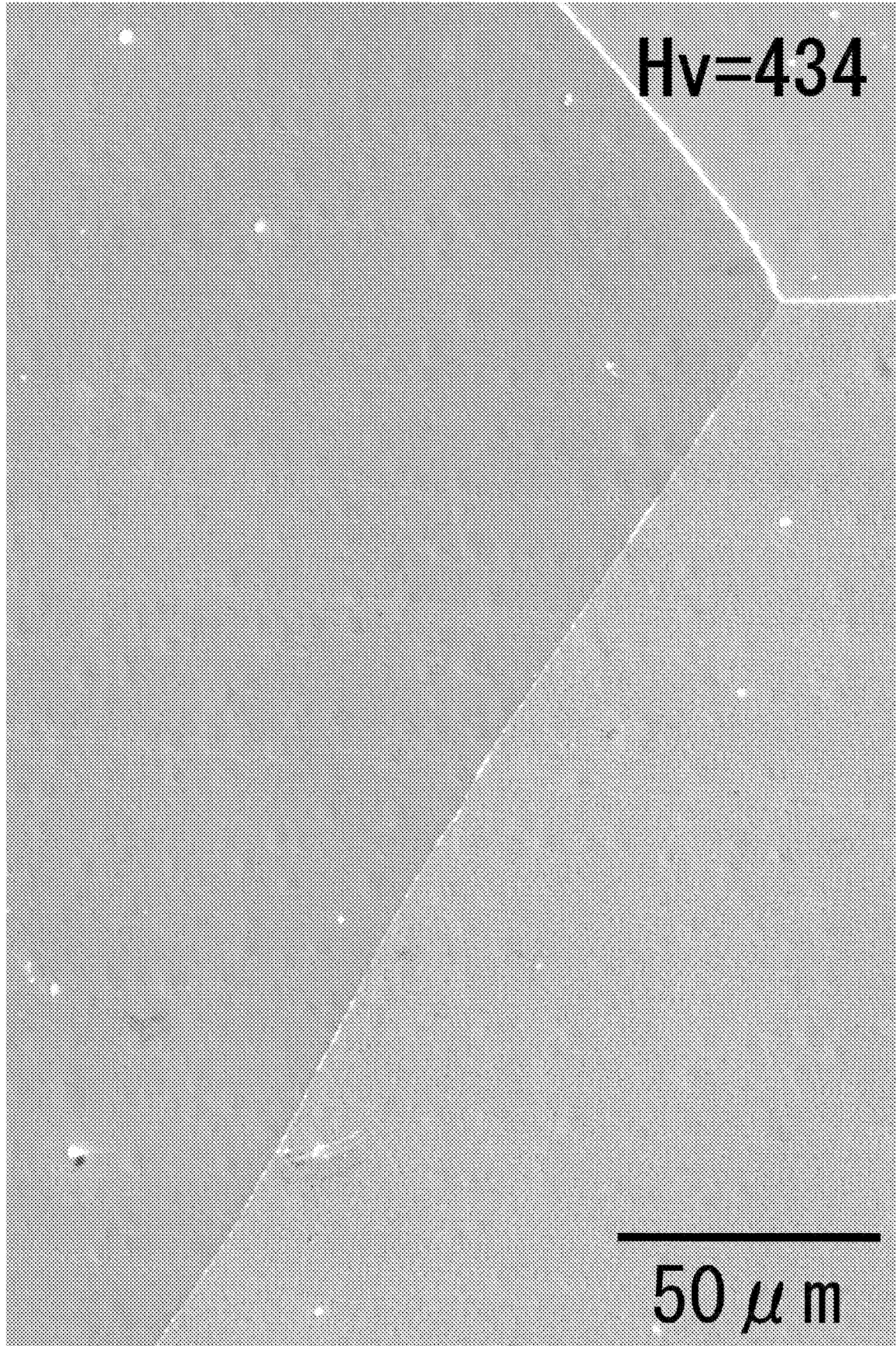
子%のTi及びTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上100以下重量ppmのBを含有する請求項5に記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。

[請求項7] 荷重300gで測定したビッカース硬さが410～520である請求項5又は6に記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。

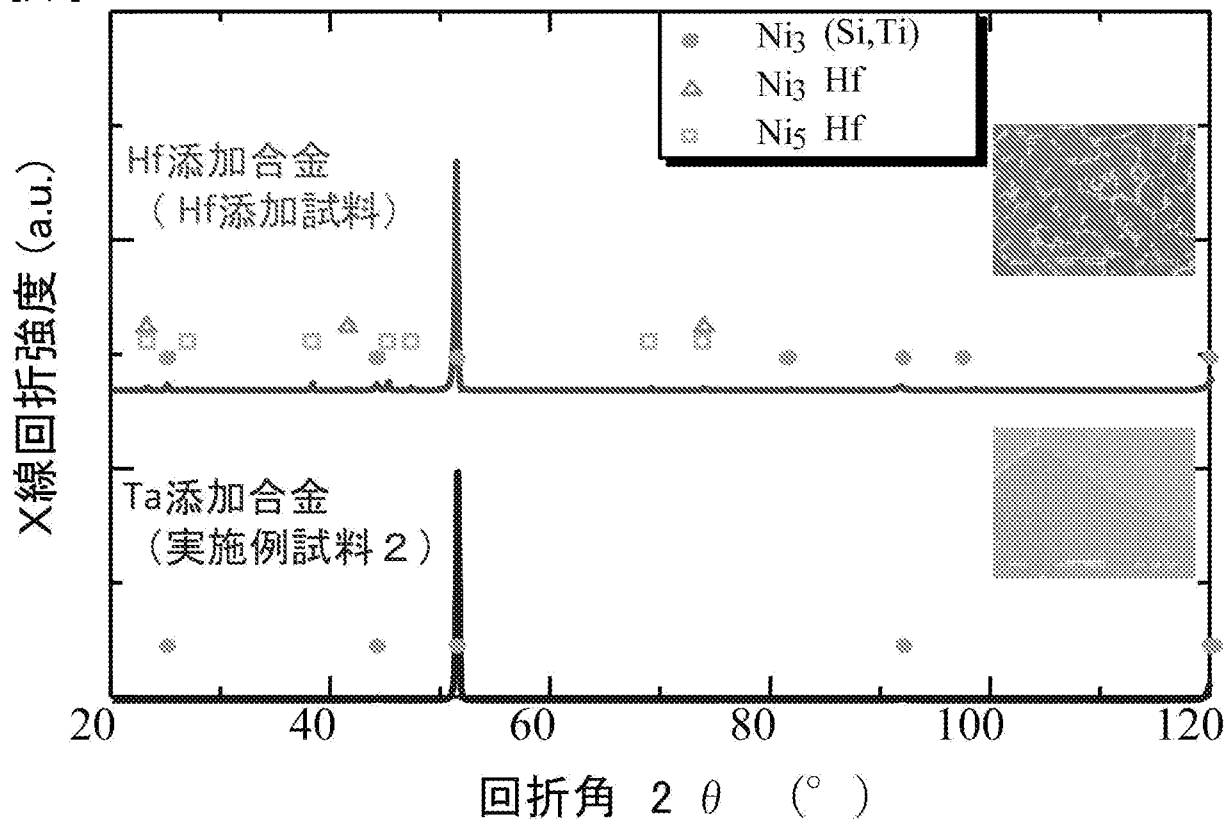
[請求項8] 前記Ni₃(Si, Ti)系金属間化合物のTa最大含有量が6.0原子%である請求項1～7のいずれか1つに記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。

[請求項9] 合計で19.0～21.5原子%のSi、Ti及びTa、残部が不純物を除きNiからなる合計100原子%の組成を有する金属間化合物の重量に対して25以上500以下重量ppmのBを含有する請求項1～8のいずれか1つに記載のNi₃(Si, Ti)系金属間化合物。

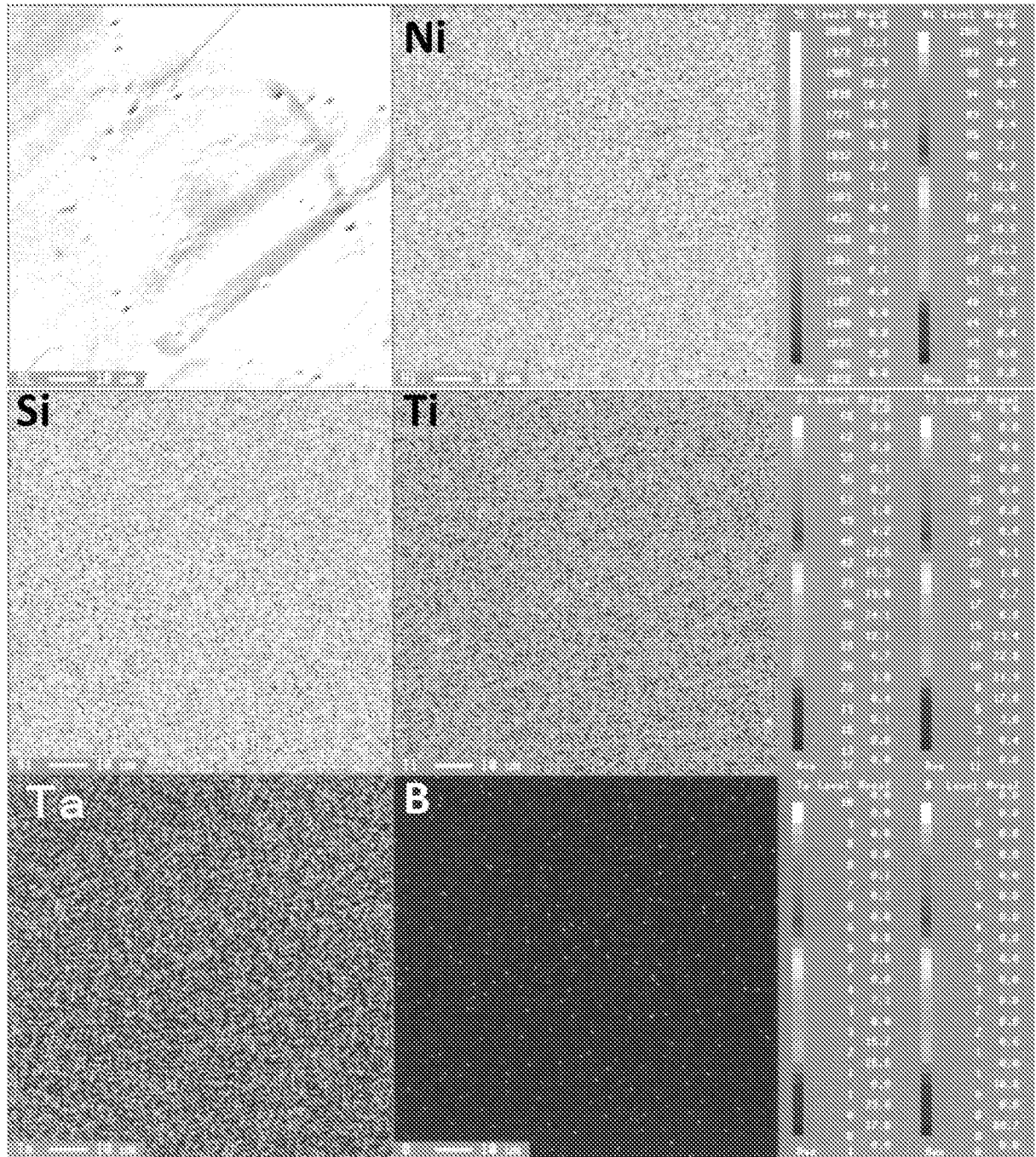
[図1]



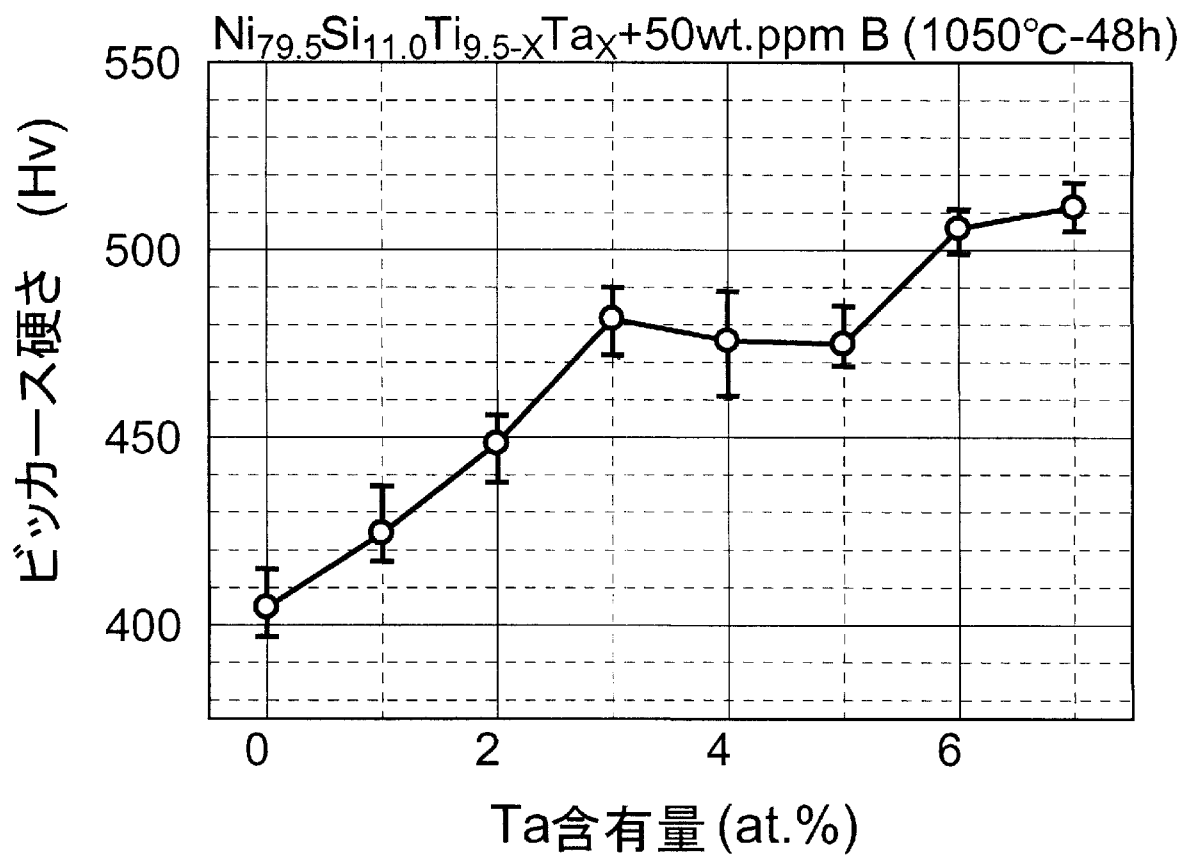
[図2]



[図3]



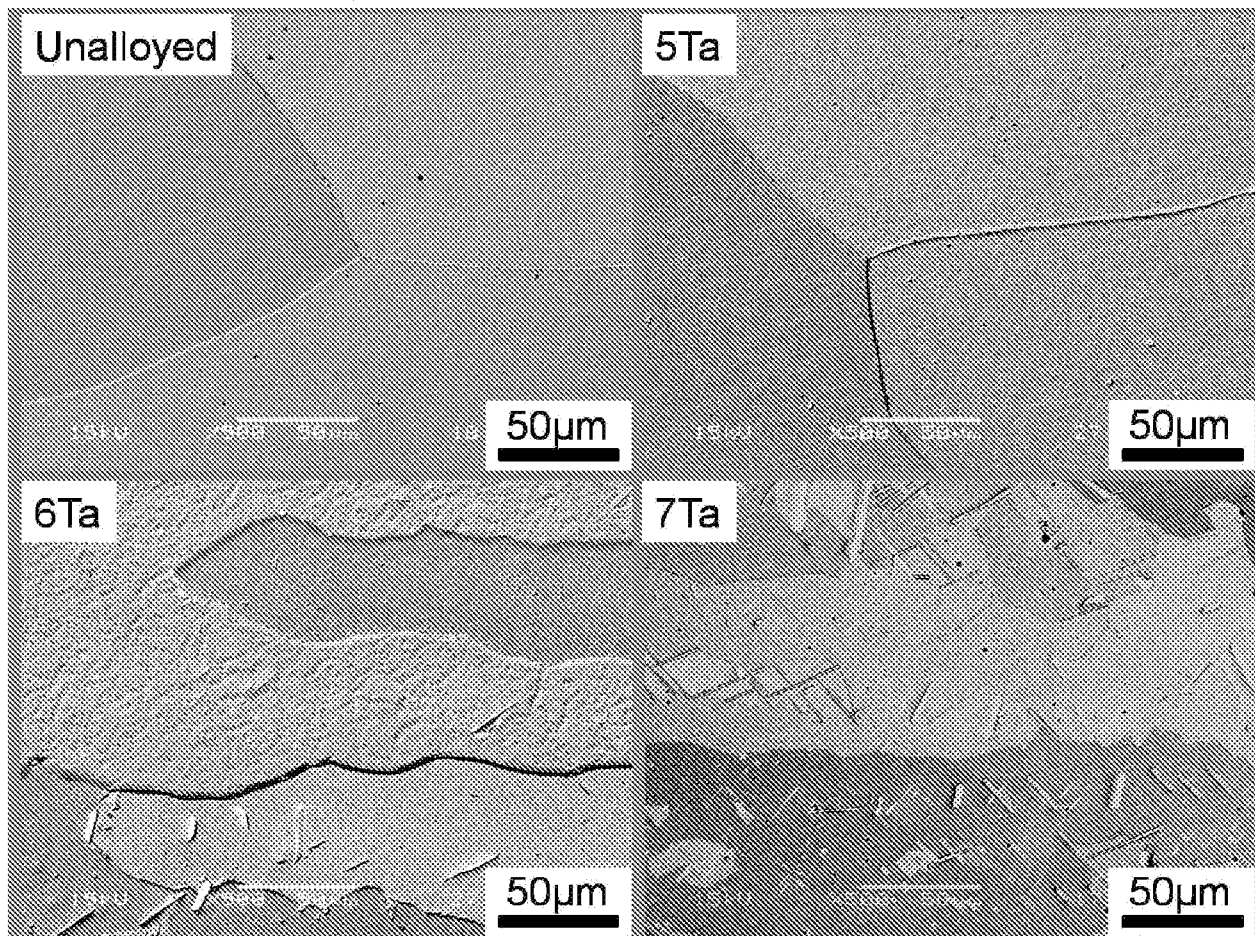
[図4]



[図5]

(1) 比較例試料(Unalloyed)

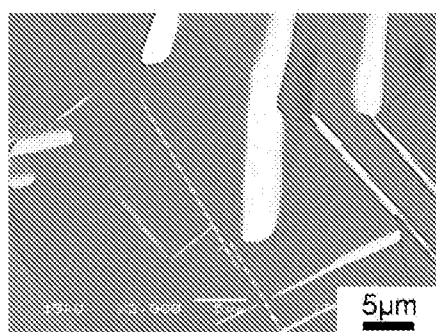
(2) 実施例試料5(5Ta)



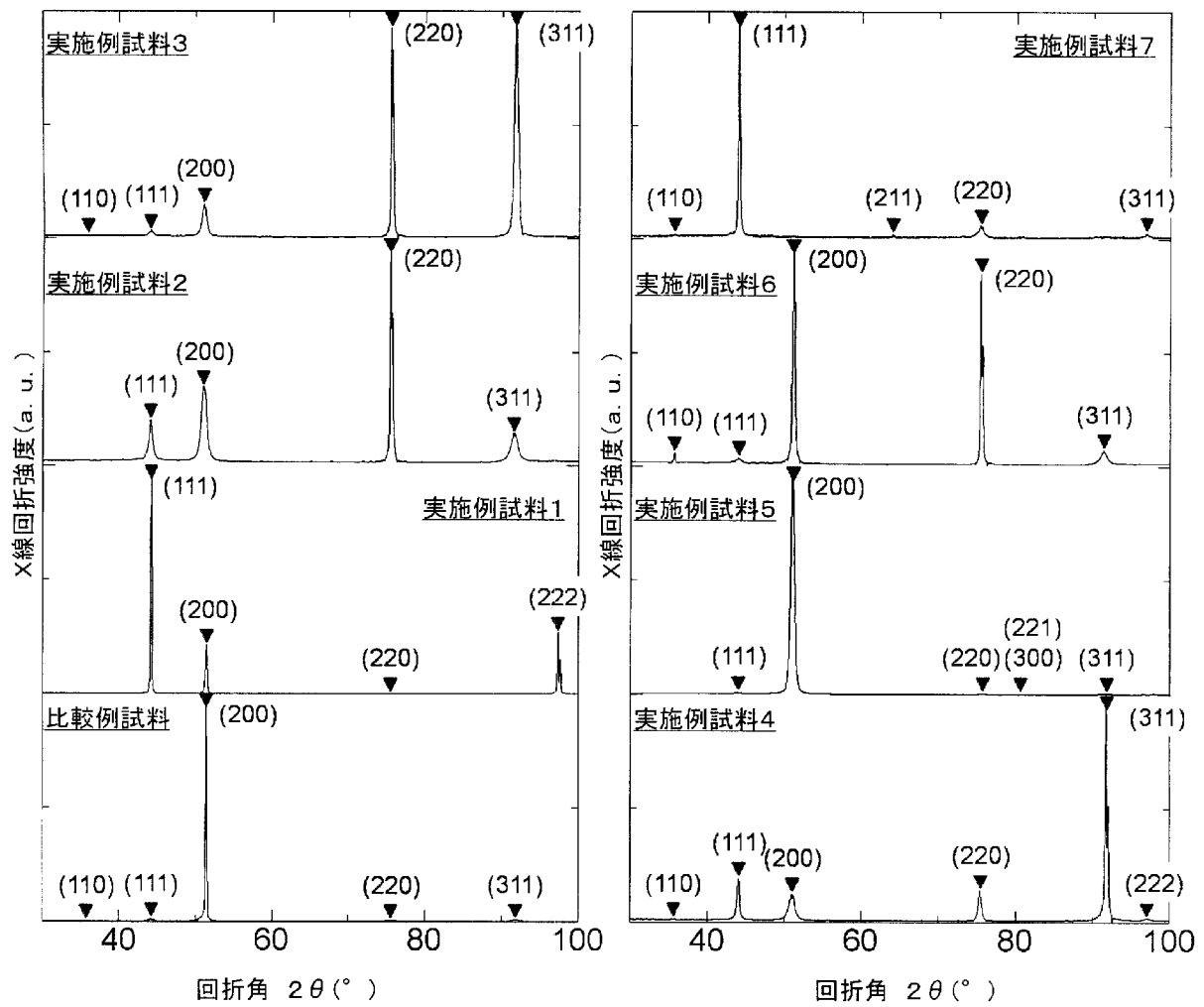
(3) 実施例試料6(6Ta)

(4) 実施例試料7(7Ta)

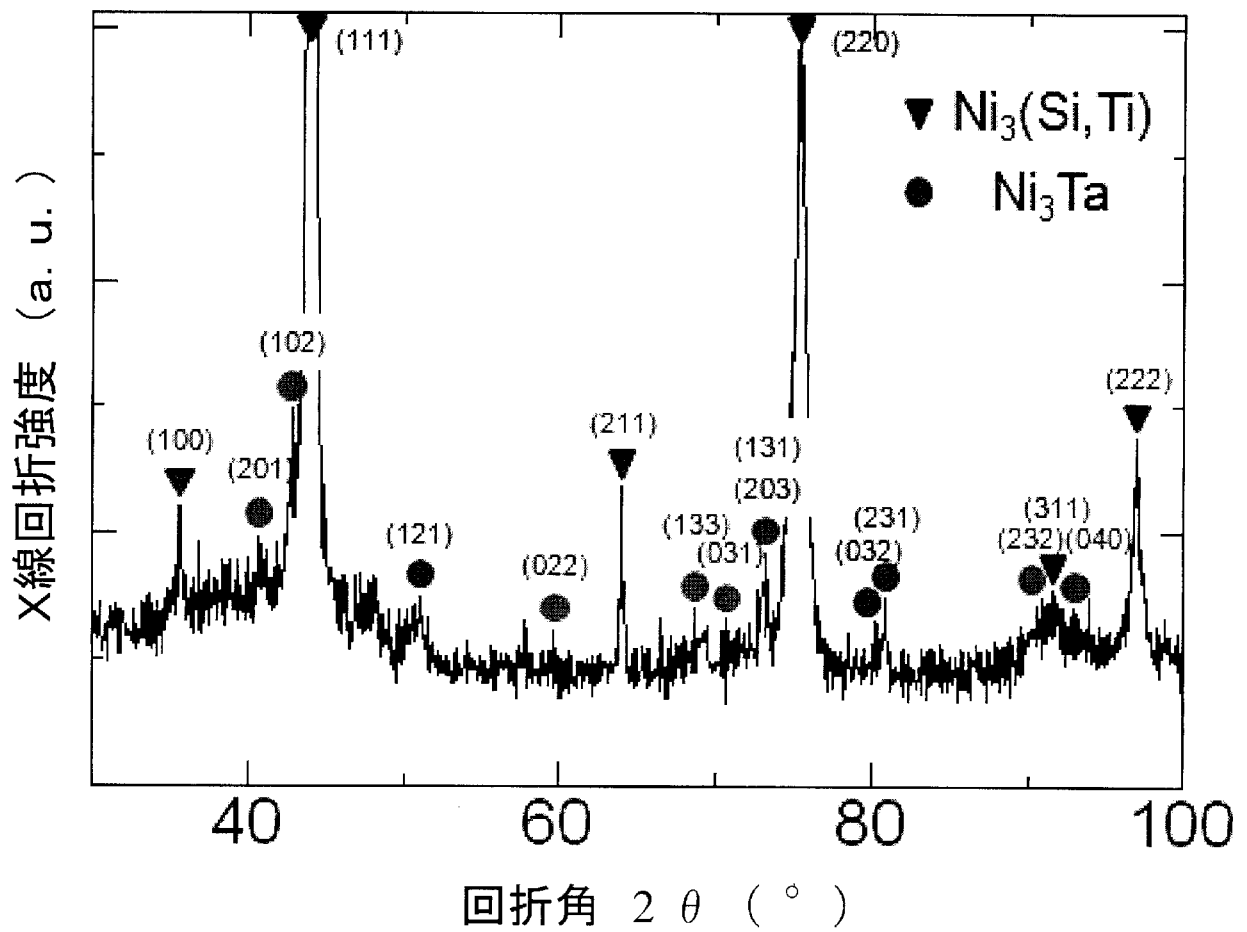
(5) 実施例試料7(7Ta)の拡大写真



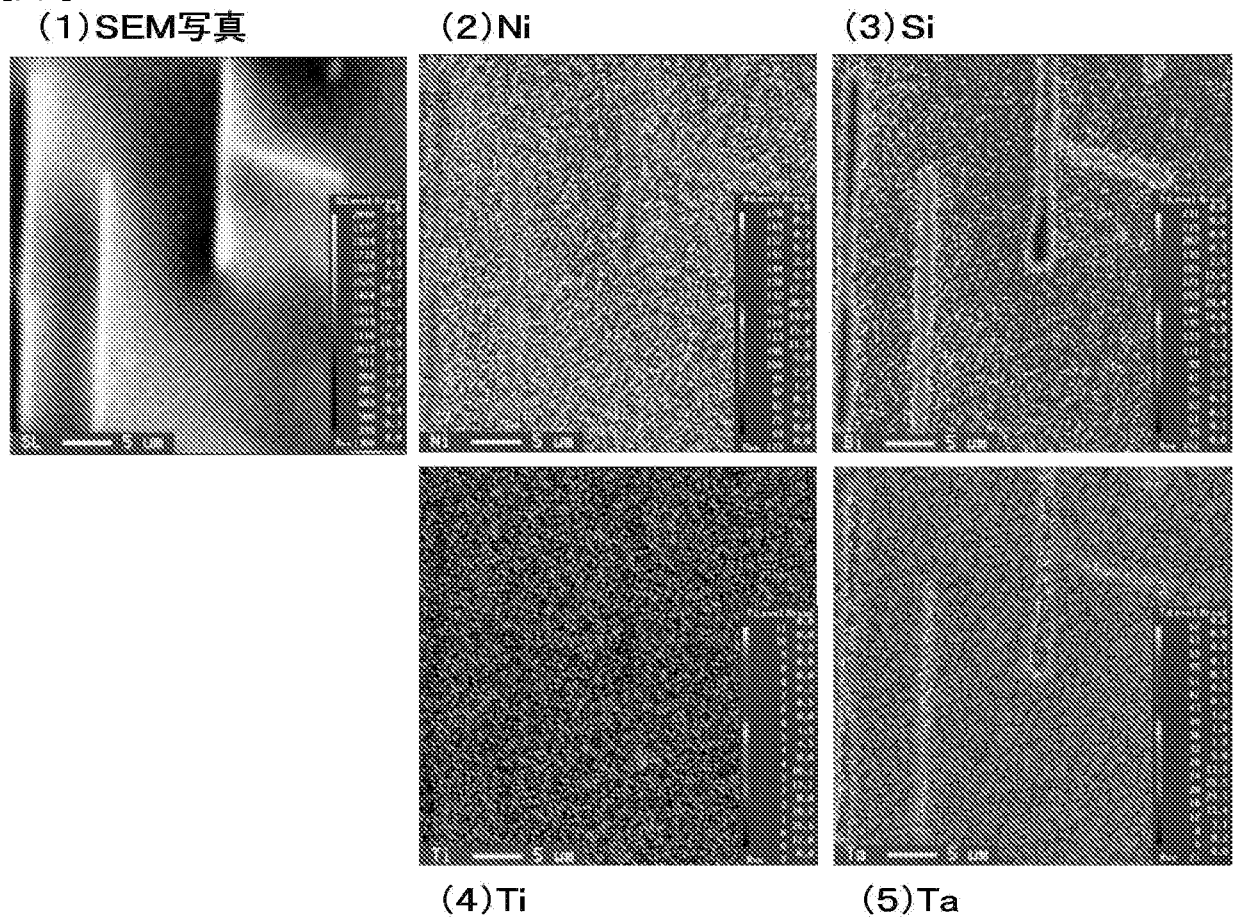
[圖6]



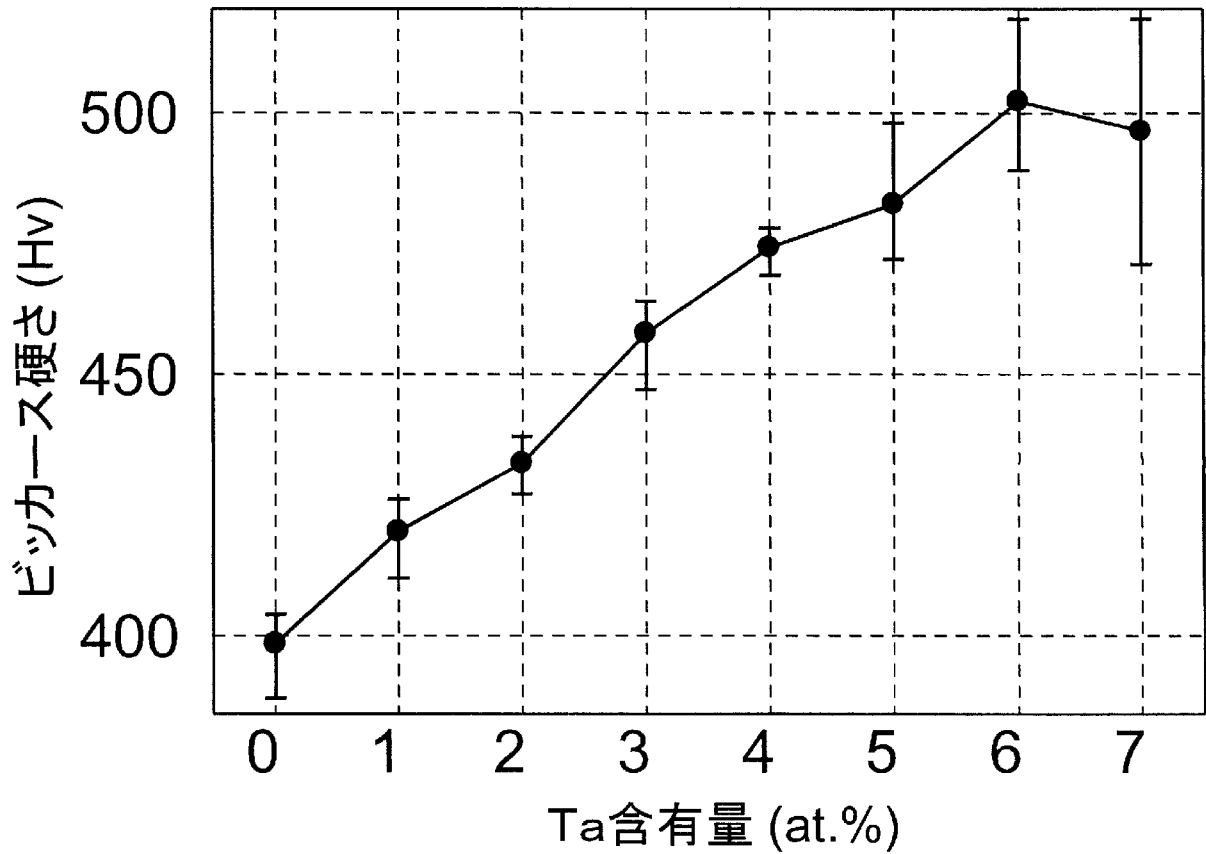
[图7]



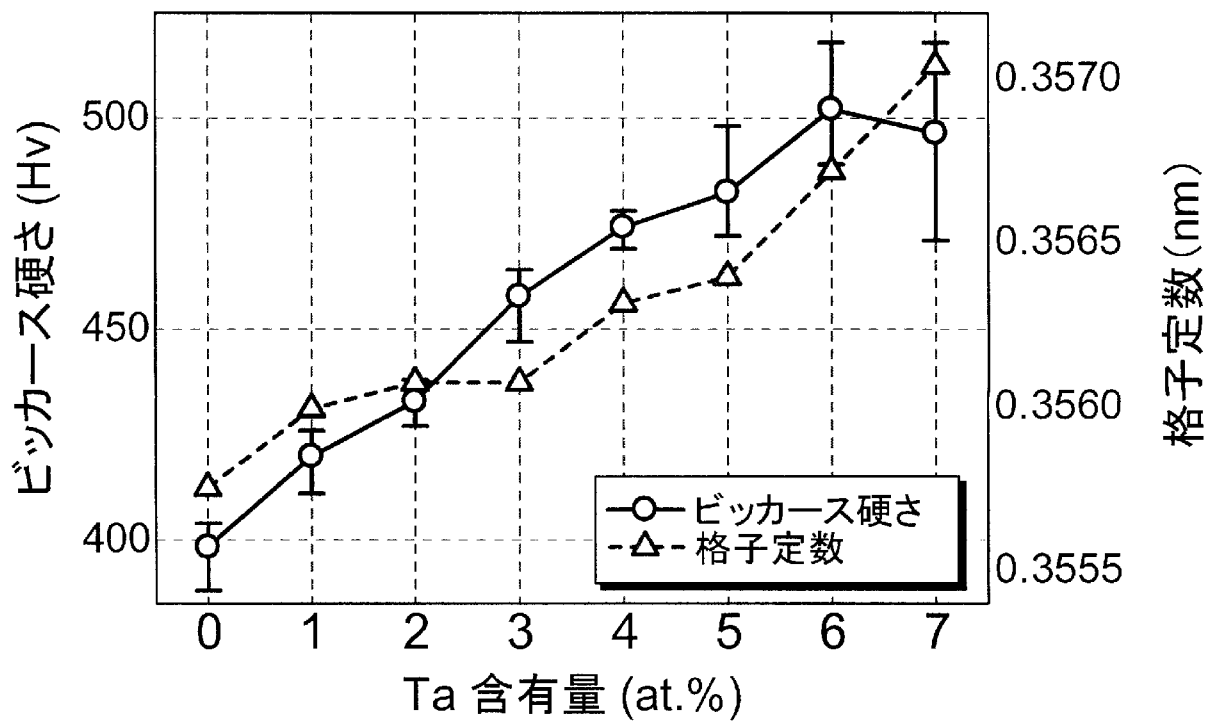
[图8]



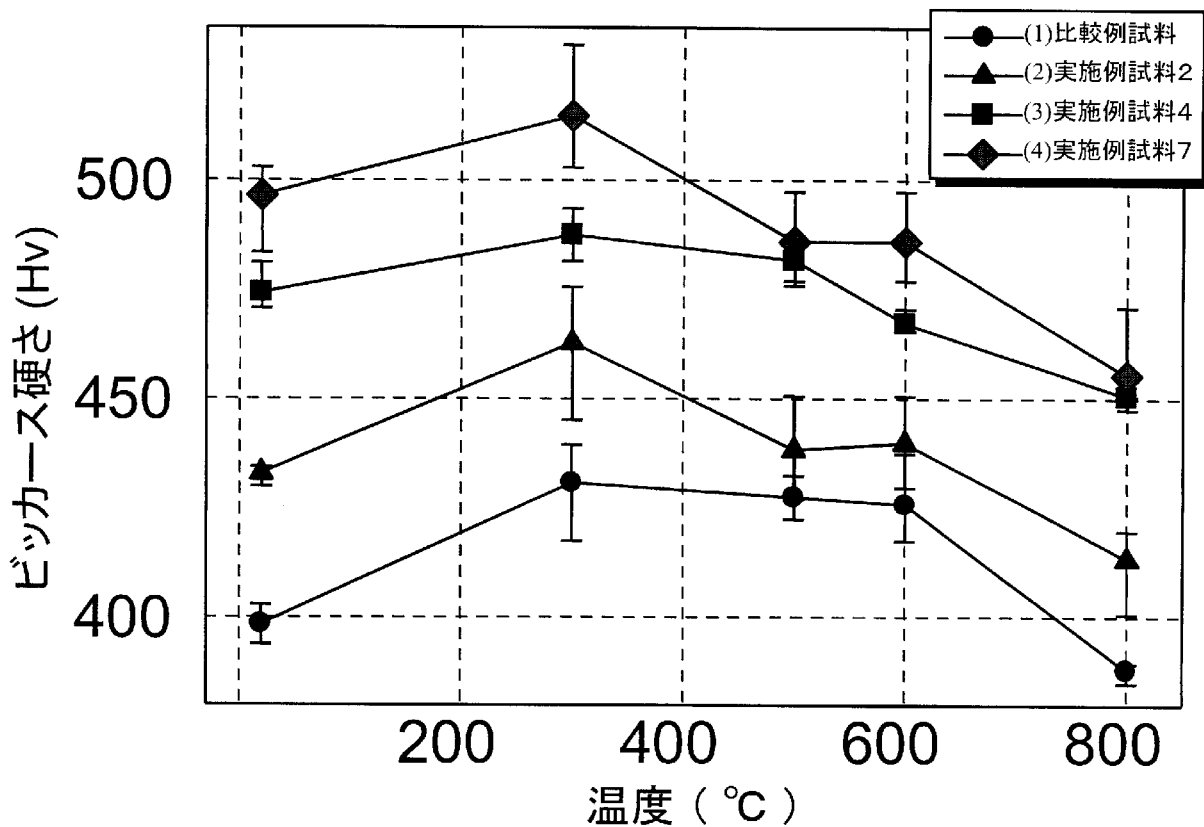
[図9]



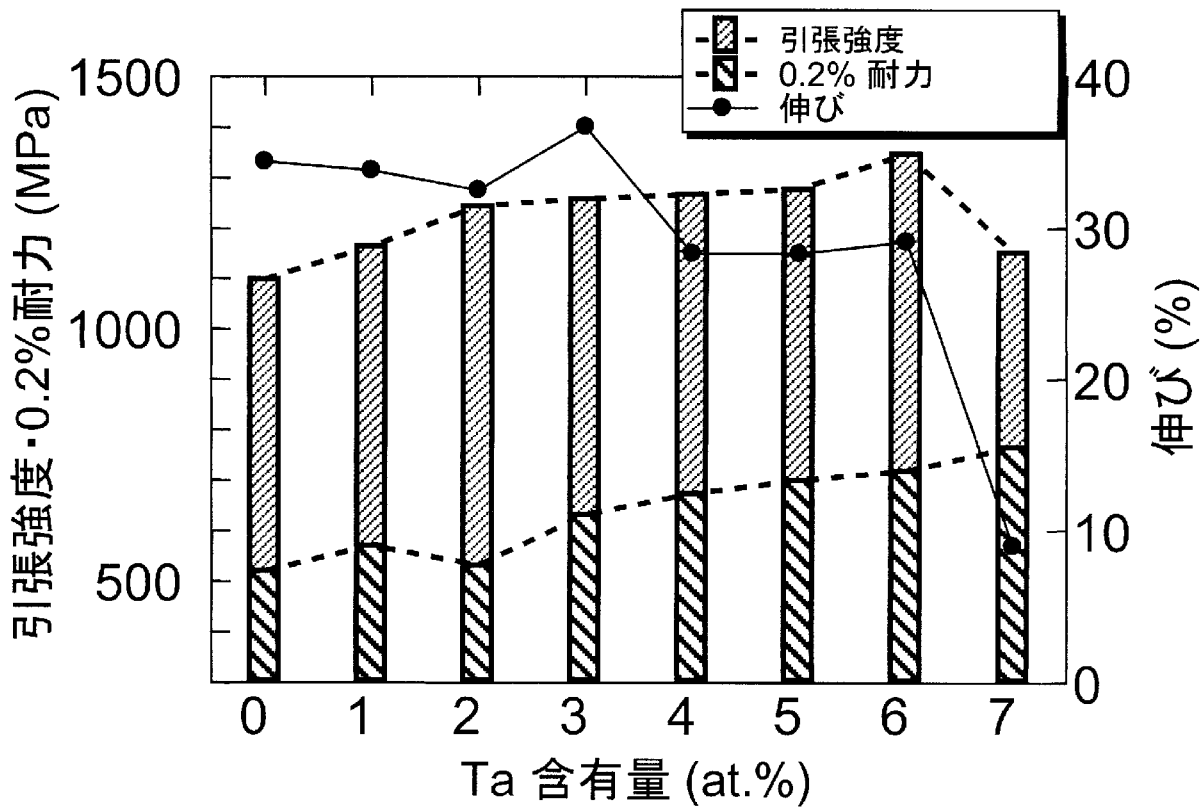
[図10]



[図11]

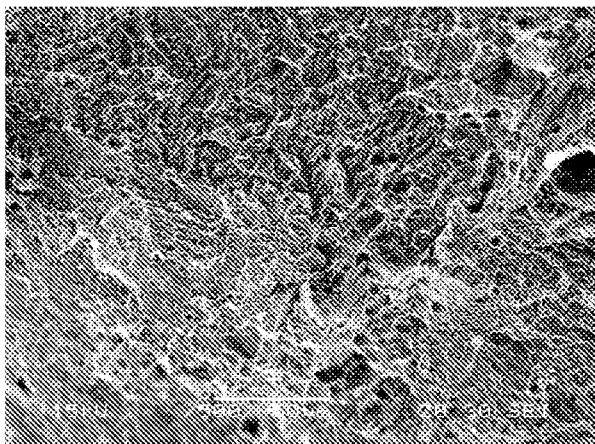


[図12]

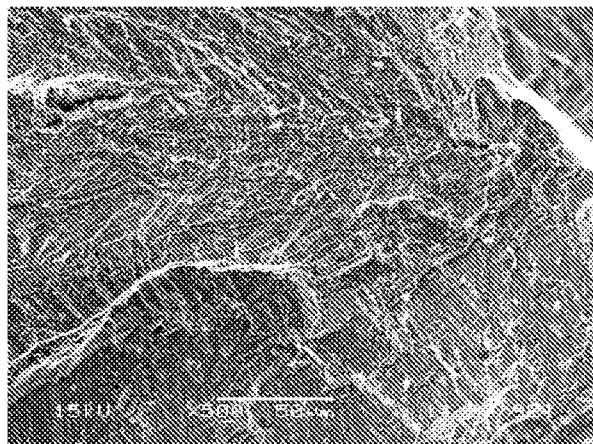


[図13]

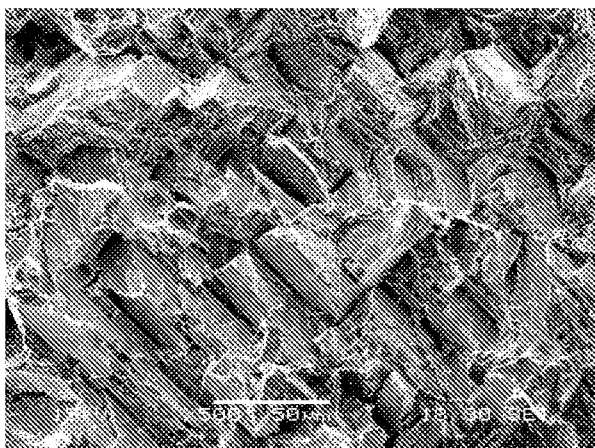
(1) 比較例試料 (Unalloyed)



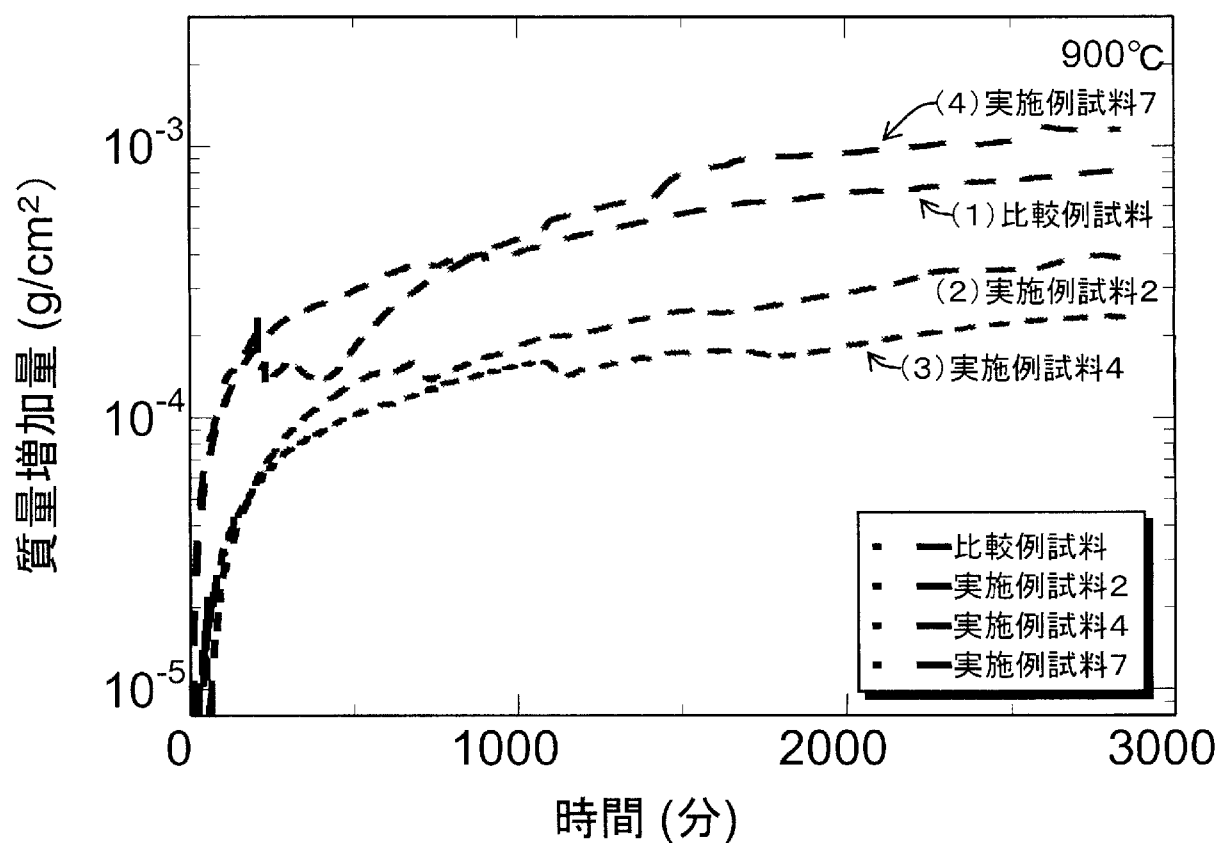
(2) 実施例試料5 (5Ta)



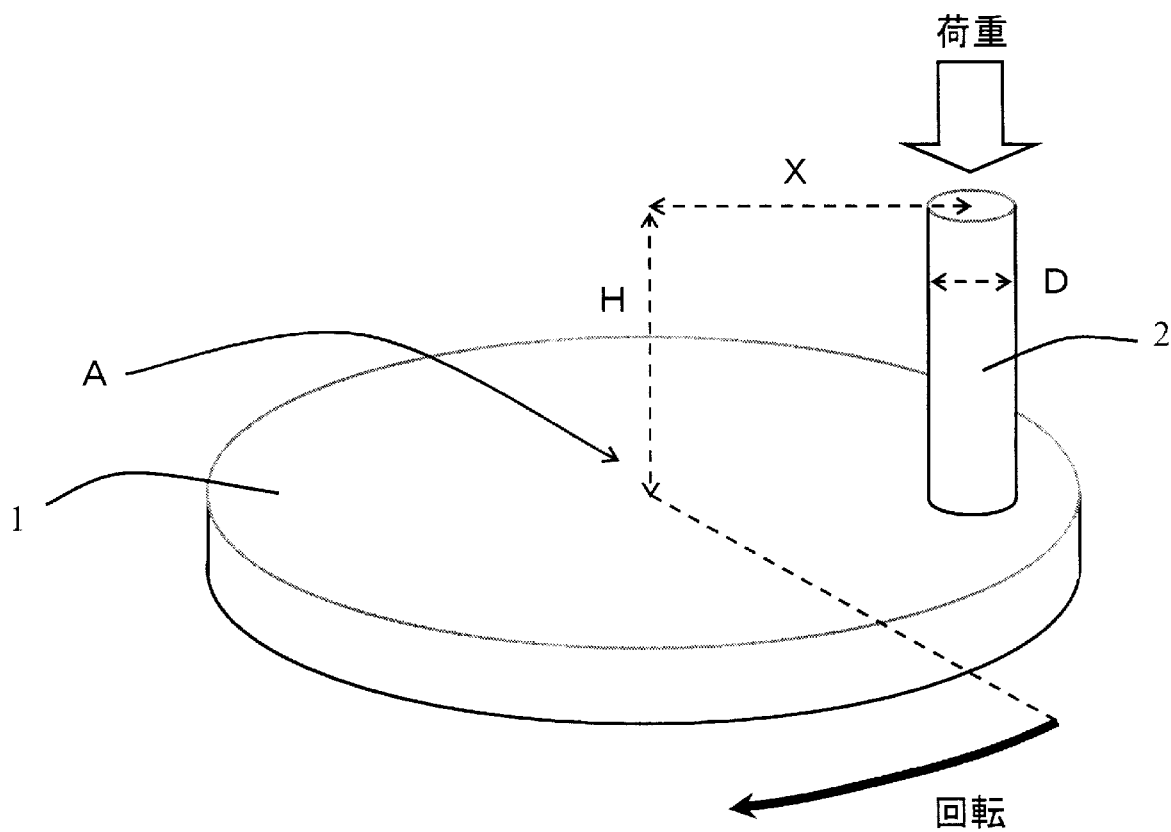
(3) 実施例試料7 (7Ta)



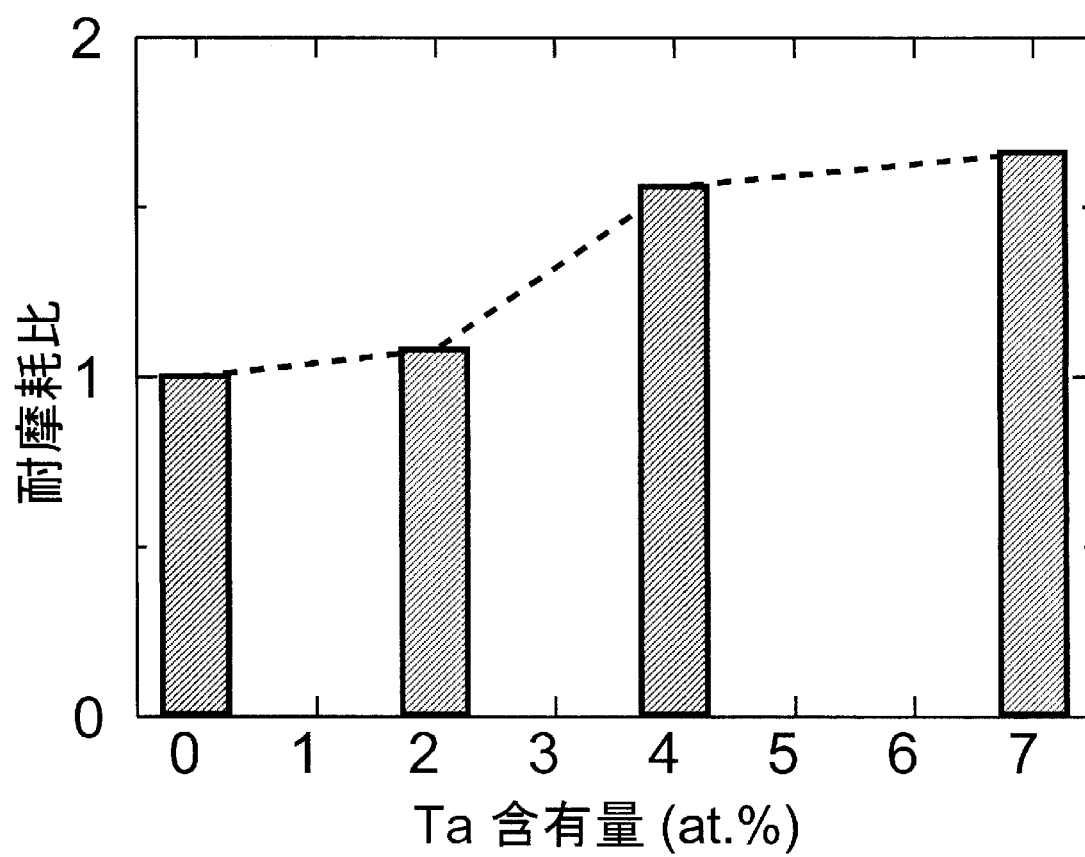
[圖14]



[圖15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/065839

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C19/03(2006.01) i, C22C1/00(2006.01) n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C22C1/00-49/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-268037 A (Nippon Stainless Steel Co., Ltd.), 24 September 1992 (24.09.1992), (Family: none)	1-9
A	JP 5-320793 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 03 December 1993 (03.12.1993), (Family: none)	1-9
A	JP 8-60278 A (The Japan Steel Works, Ltd.), 05 March 1996 (05.03.1996), (Family: none)	1-9
P, A	JP 2010-31323 A (Osaka Prefecture University), 12 February 2010 (12.02.2010), (Family: none)	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
 02 December, 2010 (02.12.10)

Date of mailing of the international search report
 14 December, 2010 (14.12.10)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C19/03(2006.01)i, C22C1/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C1/00-49/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 4-268037 A (日本ステンレス株式会社) 1992. 09. 24, (ファミリーなし)	1-9
A	JP 5-320793 A (住友金属工業株式会社) 1993. 12. 03, (ファミリーなし)	1-9
A	JP 8-60278 A (株式会社日本製鋼所) 1996. 03. 05, (ファミリーなし)	1-9

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 12. 2010

国際調査報告の発送日

14. 12. 2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河野 一夫

4K

9833

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, A	JP 2010-31323 A (公立大学法人大阪府立大学) 2010. 02. 12, (ファミリーなし)	1 - 9