



Title	Effect of $\beta$ -phase stability on physical properties in Ti-Nb base alloys for biomedical applications
Author(s)	王, 盼
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/34411">https://hdl.handle.net/11094/34411</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Pan Wang )	
Title	Effect of $\beta$ -phase stability on physical properties in Ti-Nb base alloys for biomedical applications (生体用Ti-Nb合金における $\beta$ 相の相安定性が物性におよぼす影響)
<p><math>\beta</math>-phase Ti alloys have been considered as important implant biomaterials because of their excellent properties. However, the phase transformation behavior and dislocation structure is complex. Therefore, the focus of this present study was directed at improving the understanding of <math>\beta</math>-phase stability and its influence on physical properties in Ti-Nb base alloys for biomedical applications. This dissertation is conveniently divided into 7 Chapters.</p> <p>Chapter 1 provides motivations and purposes of present study. The background is also briefly reviewed.</p> <p>In Chapter 2, the relation between <math>\omega</math>-phase transformation, <math>\beta</math>-phase lattice modulation and <math>\beta</math>-phase stability in Ti-Nb single crystals were investigated. We found that Ti-30Nb single crystal <math>\beta</math>-phase exhibits only lattice modulation, a low Debye temperature and a high the resistivity at 15 K, corresponding to the relatively low <math>\beta</math>-phase stability.</p> <p>In Chapter 3, effect of Al content on <math>\omega</math>-phase transformation and lattice modulation in Ti-Nb-Al alloys were studied. The <math>\omega</math>-phase is gradually suppressed with increasing Al content and the lattice modulation that has a propagation vector <math>\langle \zeta \zeta 0 \rangle^*</math> (<math>\zeta \sim 1/2</math>) and the atom displacement of [110] appears in the Ti-Nb-Al alloys. Ti-28Nb-7Al alloy with an <math>e/a</math> of 4.21 showing low <math>\beta</math>-phase stability was obtained.</p> <p>In Chapter 4, the elastic properties of Ti-30Nb and Ti-28Nb-7Al single crystals which show low <math>\beta</math>-phase stability were investigated. By controlling athermal <math>\omega</math>-phase and decreasing the <math>e/a</math> ratio, a large elastic anisotropy Ti-28Nb-7Al single crystal with <math>E_{100} \sim 36</math> (GPa) was obtained, which is almost similar to Young's modulus of human cortical bones and is possible to apply to biomedical implants for avoiding stress shielding.</p> <p>In Chapter 5, the compressive deformation behaviors of Ti-Nb base single crystals depends on the <math>\beta</math>-phase stability and addition of Al content were investigated. Deformation induced <math>\omega</math>-phase transformation, which changes <math>T_c</math>, electrical resistivity curve and also suppresses the growth of athermal <math>\omega</math>-phase below room temperature, was found in low <math>\beta</math>-phase stability single crystals. The formation of <math>\omega</math>-phase may relate an anomalous softening after yield in stress-strain curve. However, deformation induced <math>\omega</math>-phase transformation could be suppressed by a small amount Al content. We also found that both the major additional elements and Al element are important factors responding to the deviation of system plane.</p> <p>In Chapter 6, the cyclic deformation behaviors of Ti-Nb base single crystals were studied. The cyclic deformation behavior depends on <math>\beta</math>-phase stability and Al content. For ternary Ti-zNb-7Al single crystals, a continuously cyclic softening occurred. In contrast, it is complex for binary Ti-Nb single crystals. An asymmetrical shape was observed in Ti-28Nb single crystal that is caused by stress induced <math>\alpha''</math> martensite transformation. Symmetrical shape that is related to dislocation slip was observed in Ti-<math>x</math>Nb (<math>30 \leq x \leq 40</math> in at. %) single crystals. Continuous cyclic hardening was observed in Ti-30Nb single crystal, while an anomalous precipitation softening after cyclic hardening was observed in Ti-32Nb, Ti-34Nb and Ti-36Nb single crystals. After cyclic deformation, phase transformation occurs in the low <math>\beta</math>-phase stability binary single crystals which are four variants <math>\omega</math>-phase appears in Ti-28Nb and Ti-30Nb single crystals and single variant <math>\omega</math>-phase appears in Ti-32Nb, Ti-34Nb and Ti-36Nb single crystals. Furthermore, it is confirmed that single variant <math>\omega</math>-phase formed by a dislocation interaction mechanism and the anomalous softening is caused by formation of single variant <math>\omega</math>-phase.</p> <p>In Chapter 7, the present study has been summarized.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Pan Wang )	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 中野 貴由
	副 査 教授 荒木 秀樹
	副 査 教授 安田 弘行

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、生体用金属材料として大きな注目を集めている  $\beta$  型 Ti-Nb 基合金の複雑な相変態、弾性的性質、疲労特性を含む塑性変形挙動について  $\beta$  相の相安定性に注目し、単結晶を用いた定量的な電気抵抗などの物性解析に基づき、新規の合金設計法を提案し、その有用性の検討を行っている。

第 1 章は序論であり、近年の医療分野における生体用  $\beta$  型 Ti 合金が果たす重要性と、合金開発のために重要視される相変態、弾性的性質、塑性変形について述べている。応力遮蔽は骨と使用頻度の高い Ti 合金との弾性率のギャップから誘発される。本章では、インプラント周囲での骨吸収の問題とその解決法の一つとして、 $\beta$  型 Ti 合金単結晶を用いた合金設計法を明確に説明している。

第 2 章では、 $\beta$  型 Ti-Nb 合金における相変態挙動と  $\beta$  相安定性について、電気抵抗測定、透過型電子顕微鏡観察ならびに低温比熱測定から解明している。中でも  $\beta$  相安定性をデバイ温度から定量的に議論している。

第 3 章では、第 2 章で解明された相変態挙動と  $\beta$  相安定性の結果に基づき、Ti-28Nb (at. %) 合金において形成される  $\omega$  相の析出を Al 元素添加によって抑制し、価電子濃度を減少させることで、低弾性 Ti-Nb-Al 合金の開発を試みている。本章では、特に  $\omega$  相の抑制について電気抵抗測定と透過型電子顕微鏡による低温での in-situ 観察を用いて解析している。

第 4 章では、第 3 章にて  $\omega$  相が抑制され、かつ価電子濃度の低減が確認できた Ti-28Nb-7Al (at. %) 合金を選定し、単結晶育成とその弾性定数の測定を行っている。結果として、単結晶体の [001] 方向のヤング率が最も低くなり、その値は生体骨程度まで低減できることを明らかにしている。このことは提案する低弾性化のための合金設計法の正当性を証明している。

第 5 章では、 $\beta$  型 Ti-Nb 合金ならびに Ti-Nb-Al 合金における塑性変形挙動を、単結晶試料を用いた圧縮試験と透過型電子顕微鏡観察から解明している。特に、相安定性の低い  $\beta$  相では降伏後、特異な軟化現象を示すことを見出しており、この原因が局所的に形成される  $\omega$  相であるものと結論付けている。

第 6 章では、第 5 章で得られた特異な軟化現象を、単結晶試料を用いて交番応力を負荷し、転位の運動挙動を顕在化するための疲労試験を用いることで解明している。結論として、活動転位のバーガースベクトルの方向と平行な  $\omega$  相バリエーションが選択的に形成され、このことが、軟化現象の直接的な原因であることを示している。

第 7 章では、本論文により得られた成果をまとめ、生体用  $\beta$  型 Ti 合金の開発において、 $\beta$  相の相安定性を考慮しつつ弾性的性質ならびに塑性変形挙動の制御が可能であり、本合金の開発指針を提案している。

以上のように、本論文は  $\beta$  相安定性の観点から、Ti-Nb 基合金を高機能化するための新規手法・概念を与えるものであり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

したがって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。