

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-169137  
(P2004-169137A)

(43) 公開日 平成16年6月17日(2004.6.17)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
C 2 3 C 14/06	C 2 3 C 14/06	4 K O 2 9
C 2 3 C 28/00	C 2 3 C 14/06	4 K O 4 4
	C 2 3 C 28/00	B

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2002-337357 (P2002-337357)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22) 出願日	平成14年11月21日(2002.11.21)	(74) 代理人	100075096 弁理士 作田 康夫
		(72) 発明者	高橋 雅也 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究 所内
		(72) 発明者	山口 静 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究 所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 摺動部材

(57) 【要約】

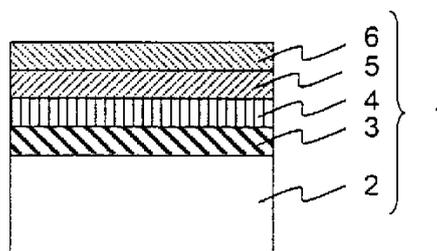
【課題】耐荷重性、密着性に優れた摺動部材を提供することにある。

【解決手段】基材上に被膜を有する摺動部材であって、基板側からボンド層と、中間層と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有し、中間層のピッカース硬さがHv1500~3000であり、硬質ボンド層のピッカース硬さがHv1000~3000であり、硬質炭素被膜層のピッカース硬さがHv1000~5000であることを特徴とする。

以上によれば、深さ方向の硬さ分布を傾斜化させることで、耐荷重性、密着性に優れた高負荷摺動下で適用可能な硬質炭素被膜層を提供することが可能である。

【選択図】 図1

図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基材上に被膜を有する摺動部材であって、  
基板側からボンド層と、中間層と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有し、  
前記中間層のビッカース硬さが  $Hv 1500 \sim 3000$  であり、  
前記硬質ボンド層のビッカース硬さが  $Hv 1000 \sim 3000$  であり、  
前記硬質炭素被膜層のビッカース硬さが  $Hv 1000 \sim 5000$  であることを特徴とする  
摺動部材。

## 【請求項 2】

拡散硬化処理を施した基材上に被膜を有する摺動部材であって、  
基板側から中間層と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有し、  
前記基材のビッカース硬さが  $Hv 500 \sim 1500$  であり、  
前記中間層のビッカース硬さが  $Hv 1500 \sim 3000$  であり、  
前記硬質炭素被膜層のビッカース硬さが  $Hv 1000 \sim 5000$  であることを特徴とする  
摺動部材。

## 【請求項 3】

基材上に被膜を有する摺動部材であって、  
基板側から中間層と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有し、  
前記中間層のビッカース硬さが  $Hv 1500 \sim 3000$  であり、  
前記硬質ボンド層のビッカース硬さが  $Hv 1000 \sim 3000$  であり、  
前記硬質炭素被膜層のビッカース硬さが  $Hv 1000 \sim 5000$  であることを特徴とする  
摺動部材。

## 【請求項 4】

前記ボンド層の厚さが  $0.01 \mu m \sim 0.5 \mu m$ 、  
前記中間層の厚さが  $0.5 \mu m \sim 30 \mu m$ 、  
前記硬質ボンド層の厚さが  $0.1 \mu m \sim 5.0 \mu m$ 、  
前記硬質炭素被膜層の厚さが  $0.1 \mu m \sim 5 \mu m$  であることを特徴とする請求項 1 記載  
の摺動部材。

## 【請求項 5】

前記ボンド層が  $Cr, Ti, W, Al, Zn, Fe, Si$  の一種からなる金属層、これら  
元素を含む炭化物層もしくは金属層からなる傾斜層であることを特徴とする請求項 1 記載  
の摺動部材。

## 【請求項 6】

前記中間層が  $CrN, TiN, TiAlN, TiCN, TiC$  ならなる層であることを特  
徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の摺動部材。

## 【請求項 7】

前記硬質ボンド層が  $Cr, Ti, W, Al, Zn, Fe, Si$  の一種からなる金属層であ  
り、 $1 Pa$  以下の真空度中にて成膜されたことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに摺  
動部材。

## 【請求項 8】

前記硬質ボンド層が  $Cr, Ti, W, Al, Zn, Fe, Si, TiAl$  の炭化物層、こ  
の炭化物層若しくは金属層からなる傾斜層であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれ  
かに記載の摺動部材。

## 【請求項 9】

前記硬質炭素被膜層がダイヤモンドライクカーボン、メタル入りダイヤモンドライクカー  
ボン、窒化炭素からなる層であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 に記載の硬質炭素被膜層  
の摺動部材。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

10

20

30

40

50

## 【発明の属する技術分野】

本発明は硬質炭素被膜層を有する摺動部材に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、環境への負荷低減を目的として製品の小型化，高性能化，高効率化が産業界で要求されている。なかでも摺動機構を備える製品においては、エネルギーロスを低減し、高性能化を図るための低フリクションが技術が求められている。これらの要求に応える新しい表面改質技術として硬質炭素被膜層が注目されている。硬質炭素被膜層は、一般的には、DLC(Diamond Like Carbon)，アモルファスカーボン，i-カーボンと表現されている。

10

硬質炭素被膜層は、低フリクション特性を有するグラファイトと高高度のダイヤモンドからなるため、両方の特性を兼備している。摩擦係数は0.05～0.2と低く、また酸・アルカリに対しても化学的に安定である。これらの特性は、制膜方法やガスの種類，混合比率により、グラファイトとダイヤモンドの割合や水素含有量が異なることにより変化する。また最近では、膜に金属をドーブさせるDLCやイオンを注入するDLC，窒化炭素膜(CxNy)等も開発されている。

## 【0003】

しかしながら、一般的に硬質炭素被膜層は非常に高い内部残留応力を有するため、割れ，剥離が生じやすく、密着性，耐過重性に劣る。また厚膜化も困難である。そのため、高負荷下で摺動する自動車やコンプレッサー等の部品への硬質炭素被膜層の適用が困難であった。

20

## 【0004】

この問題を解決するため、下記特許文献1には、基材と硬質炭素被膜層の間に硬質セラミック層を1層設ける技術が開示されている。

## 【0005】

## 【特許文献1】

特開2000-316800号公報

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記技術では基材上に直接硬質セラミック層を成膜するため、基材と硬質セラミック層間の密着性において課題を有している。更に深さ方向の硬さ分布が傾斜化されていないため、耐荷重性が十分でない。

30

## 【0007】

以上本発明は上記課題を解決し、耐荷重性，密着性に優れた摺動部材を提供することにある。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するための手段の一つとしては、基材上に被膜を有する摺動部材であって、基板側から中間層と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有し、中間層のビッカース硬さがHv1500～3000であり、硬質ボンド層のビッカース硬さがHv1000～3000であり、硬質炭素被膜層のビッカース硬さがHv1000～5000であることを特徴とする。即ち、深さ方向の硬さ分布を傾斜化させることで、耐荷重性，密着性に優れた高負荷摺動下で適用可能な硬質炭素被膜層を提供することが可能である。

40

## 【0009】

## 【発明の実施の形態】

## 〔実施例1〕

図1は、本発明により作成した膜構造1を示す図である。図1の膜構造は基材上に被膜を有する摺動部材であって、基板側からボンド層3と、中間層4と、硬質ボンド層と、最表面の硬質炭素被膜層と、を有している。ここで基材2は合金工具鋼、ボンド層3はCr、中間層4はCn、硬質ボンド層5はCrC、硬質炭素被膜層6はDLCである。

50

## 【0010】

この成膜方法について説明する。まず基材2を成膜装置にセットし、真空廃棄後、Arイオンボンバードで基材表面の酸化膜を除去した。その後、スパッタ法でボンド層3としてCr層、中間層4としてCrN、硬質ボンド層5としてCrC層、硬質炭素被膜層6として DLC を順番で形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、Cr層にArガス、CrN層にN<sub>2</sub>ガス、CrC層、DLC層にCH<sub>4</sub>ガスをそれぞれ用いた。ここで、基材2は、超硬合金、工具鋼、高速度鋼、軸受鋼、ステンレス鋼、炭素鋼、Cr-Mo等の鋼材でも同様の効果があるが、硬さが硬いほど、耐荷重性に優れる。また硬質炭素被膜層6は、メタルをドーブしたDLC、C<sub>x</sub>N<sub>y</sub>でも同様の効果が得られ、成膜方法もイオン化蒸着法、プラズマCVD法、イオンプレーティングでも同様の効果が得られ、ガスもC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>でも同様の効果が得られる。

10

## 【0011】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層3としてCr層0.5μm、中間層4としてCrN層3.0μm、硬質ボンド層5としてCrC層0.4μm、硬質炭素被膜層6としてDLC1.5μmである。ボンド層3の厚さが0.01μm以下、中間層4の厚さが0.5μm以下、硬質ボンド層5の厚さが0.1μm以下、硬質炭素被膜層6の厚さが0.1μm以下の場合、膜厚が薄すぎるため、耐荷重性の向上に効果を発揮しないこと、また膜厚制御が困難であることから用いることが困難である。また逆にボンド層3の厚さが0.5μm以上、中間層4の厚さが30μm以上、硬質ボンド層の厚さが5.0μm以上、硬質炭素被膜層の厚さが5μm以上の場合、各層の残留応力が高くなり、割れや剥離が生じやすくなるため、耐荷重性、密着性が低下する。

20

## 【0012】

この膜構造1の優位性を検討するため、比較構造として、膜構造7、膜構造8、膜構造9、膜構造10、膜構造11、膜構造12、膜構造13を作製し、比較検討を行った。図2~図8にそれぞれの膜構造を示す。

## 【0013】

図9~図16に、本実施例の膜構造1と比較構造7~13の硬さ分布を示す。これらの膜構造の中で、硬さ分布が最も傾斜化されているのが膜構造1及び7であり、最も高負荷摺動下で耐えうる構造になっていることがわかる。

## 【0014】

図17に、本実施例の膜構造1と比較構造7~13の圧子押し込み試験による耐荷重性評価結果を示す。これらの膜構造の中で、最も押し込み荷重が大きいのが、膜構造1及び7であり、耐荷重性に優れていることがわかる。これは、DLCの直下層の硬さが高いほど、また深さ方向の硬さ分布が傾斜化されているほど、耐荷重性が優れるためである。

30

## 【0015】

図18に、本実施例の膜構造1と比較構造7~13のスクラッチ試験による密着性評価結果を示す。これらの膜構造の中で、最も臨界荷重(膜が剥離した荷重)が大きいのが、膜構造1及び7であり、最も密着性に優れていることがわかる。これは、基材とCrNの間に活性金属であるCrを設けることや、CrNとDLCの間にCrCを設けることで、層間の界面で強い結合が生じ密着性が優れるためである。またガスのみを変更する連続処理を行うことで、各層間に酸化膜ができないことも要因である。

40

## 【0016】

図19は、膜構造1、7~13の分極試験による耐食性評価結果を示す。これらの膜構造の中で、最も孔食電位が高いのが、膜構造1及び7であり、最も耐食性に優れていることがわかる。これは、最も耐食性の低い基材の上に高耐食性のCrN、CrCを設けることで、腐食液のバリア効果が増加するためである。

## 【0017】

以上のことから、膜構造1が、耐荷重性、密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。

## 【0018】

50

## 〔実施例 2〕

膜構造 1 を用いて、ボンド層 3 に Ti を用いて実施例 1 と同様に検討を行った。

## 【0019】

成膜方法として、基材 2 を成膜装置にセットし、真空排気後、Ar イオンボンバードで基材表面の酸化膜を除去した。その後、スパッタ法でボンド層 3 として Ti 層、中間層 4 として CrN 層、硬質ボンド層 5 として CrC 層、硬質炭素被膜層 6 として DLC の順番で膜構造を形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、Ti 層に Ar ガス、CrN 層に N<sub>2</sub> ガス、CrC 層、DLC 層に CH<sub>4</sub> ガスをそれぞれ用いた。

## 【0020】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層 3 として Ti 層 0.5 μm、中間層 4 として CrN 層 3.0 μm、硬質ボンド層 5 として CrC 層 0.4 μm、硬質炭素被膜層 6 として DLC 1.5 μm である。 10

## 【0021】

このボンド層 3 に Ti を用いた場合でも、実施例 1 とほぼ同様に硬さ分布が傾斜化され、ほぼ同様の押込荷重、臨界荷重、孔食電位を示した。

## 【0022】

以上のことから、ボンド層 3 に Ti を用いた場合でも、実施例 1 と同様に耐荷重性、密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。

## 【0023】

またボンド層 3 に W, Al, Zn, Fe, Si を用いて、同様の比較検討を行った。その結果、Cr, Ti を用いた場合とほぼ同様の結果になった。 20

## 【0024】

## 〔実施例 3〕

膜構造 1 を用いて、中間層 4 に TiN を用いて実施例 1 と同様に検討を行った。

## 【0025】

成膜方法として、基材 2 を成膜装置にセットし、真空排気後、Ar イオンボンバードで基材表面の酸化膜を除去した。その後、スパッタ法でボンド層 3 として Cr 層、中間層 4 として TiN 層、硬質ボンド層 5 として CrC 層、硬質炭素被膜層 6 として DLC の順番で膜構造を形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、Ti 層に Ar ガス、CrN 層に N<sub>2</sub> ガス、CrC 層、DLC 層に CH<sub>4</sub> ガスをそれぞれ用いた。 30

## 【0026】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層 3 として Cr 層 0.5 μm、中間層 4 として TiN 層 3.0 μm、硬質ボンド層 5 として CrC 層 0.4 μm、硬質炭素被膜層 6 として DLC 1.5 μm である。

## 【0027】

この中間層 4 に TiN を用いた場合でも、実施例 1 とほぼ同様に硬さ分布が傾斜化され、ほぼ同様の押込荷重、臨界荷重、孔食電位を示した。

## 【0028】

以上のことから、中間層 4 に TiN を用いた場合でも、実施例 1 と同様に耐荷重性、密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。 40

## 【0029】

また中間層 4 に TiAlN, TiCN, TiC を用いて、同様の比較検討を行った。その結果、CrN, TiN を用いた場合とほぼ同様の結果になった。

## 【0030】

以上のことから、中間層 4 には、CrN, TiN, TiAlN, TiCN, TiC を用いることができる。また中間層 4 に TiCN, TiC を用いる場合は、ボンド層 3 に Ti を、中間層 4 に CrN を用いる場合は、ボンド層 3 に Cr を用いることで、ガスの変更のみで成膜できるため、低コスト化が可能である。

## 【0031】

## 〔実施例 4〕

膜構造 1 を用いて、硬質ボンド層 5 に T i C を用いて実施例 1 と同様に検討を行った。

【 0 0 3 2 】

成膜方法として、基材 2 を成膜装置にセットし、真空排気後、A r イオンボンバードで基材表面の酸化膜を除去した。その後、スパッタ法でボンド層 3 として C r 層、中間層 4 として C r N 層、硬質ボンド層 5 として T i C 層、硬質炭素被膜層 6 として D L C の順番で膜構造を形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、C r 層に A r ガス、C r N 層に N<sub>2</sub> ガス、T i C 層、D L C 層に C H<sub>4</sub> ガスをそれぞれ用いた。

【 0 0 3 3 】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層 3 として C r 層 0 . 5 μ m 、中間層 4 として C r N 層 3 . 0 μ m 、硬質ボンド層 5 として T i C 層 0 . 3 μ m 、硬質炭素被膜層 6 として D L C 1 . 5 μ m である。

10

【 0 0 3 4 】

この硬質ボンド層 5 に C r C 層を用いた場合でも、実施例 1 とほぼ同様に硬さ分布が傾斜化され、ほぼ同様の押込荷重，臨界荷重，孔食電位を示した。

【 0 0 3 5 】

以上のことから、硬質ボンド層 5 に T i C 層を用いた場合でも、実施例 1 と同様に耐荷重性，密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。

【 0 0 3 6 】

また硬質ボンド層 5 に W C ， A l C ， F e C ， S i C を用いて、同様の比較検討を行った。その結果、C r C ， T i C を用いた場合とほぼ同様の結果になった。

20

【 0 0 3 7 】

さらにガスを調節することで作製できる、炭化物層および金属層からなる傾斜層を用いて同様の比較検討を行った。その結果、C r C ， T i C を用いた場合とほぼ同様の結果になった。

【 0 0 3 8 】

以上のことから、硬質ボンド層 5 には、C r C ， T i C ， W C ， A l C ， F e C ， S i C 及び炭化物層および金属層からなる傾斜層を用いることができる。また中間層 4 の主金属と合わせることで、ガスの変更のみで成膜できるため、低コスト化が可能である。

【 0 0 3 9 】

〔 実施例 5 〕

膜構造 1 を用いて、硬質ボンド層 5 に硬質 C r を用いて実施例 1 と同様に検討を行った。

30

【 0 0 4 0 】

成膜方法として、基材 2 を成膜装置にセットし、真空排気後、A r イオンボンバードで基材表面の酸化膜を除去した。その後、スパッタ法でボンド層 3 として C r 層、中間層 4 として C r N 層、硬質ボンド層 5 として硬質 C r 層、硬質炭素被膜層 6 として D L C の順番で膜構造を形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、C r 層，硬質 C r 層に A r ガス、C r N 層に N<sub>2</sub> ガス、D L C 層に C H<sub>4</sub> ガスをそれぞれ用いた。また硬質 C r 層成膜時の真空度は、1 P a であった。

【 0 0 4 1 】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層 3 として C r 層 0 . 5 μ m 、中間層 4 として C r N 層 3 . 0 μ m 、硬質ボンド層 5 として硬質 C r 層 0 . 3 μ m 、硬質炭素被膜層 6 として D L C 1 . 5 μ m である。

40

【 0 0 4 2 】

この硬質ボンド層 5 の効果を調べるため、実施例 1 で用いた C r C 層と比較検討を行った。その結果、実施例 1 とほぼ同様に硬さ分布が傾斜化され、ほぼ同様の押込荷重，臨界荷重，孔食電位を示した。

【 0 0 4 3 】

以上のことから、硬質ボンド層 5 に硬質 C r 層を用いた場合でも、実施例 1 と同様に耐荷重性，密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。

【 0 0 4 4 】

50

また硬質ボンド層5に硬質Ti, W, Al, Zn, Fe, Siを用いて、同様の比較検討を行った。その結果、CrCや硬質Crを用いた場合とほぼ同様の結果になった。

【0045】

以上のことから、硬質ボンド層5には、硬質Cr, Ti, W, Al, Zn, Fe, Siを用いることができる。また中間層4の主金属と合わせることで、ガスの変更のみで成膜できるため、低コスト化が可能である。

【0046】

〔実施例6〕

図20は、本実施例により作製した膜構造14である。膜構造14を用いて、拡散硬化層15の効果を検討した。

【0047】

成膜方法として、基材2を成膜装置にセットし、真空排気後、410 x 00hでイオン窒化を行い、拡散硬化層15を形成した。その後、スパッタ法でボンド層3としてCr層、中間層4としてCrN層、硬質ボンド層5としてCrC層、硬質炭素被膜層6としてDLCの順番で膜構造を形成した。膜構造形成時のスパッタガス及び反応性ガスは、Cr層にArガス、CrN層にN<sub>2</sub>ガス、CrC, DLC層にCH<sub>4</sub>ガスをそれぞれ用いた。

【0048】

今回作製した膜構造の厚さは、ボンド層3としてCr層0.5μm、中間層4としてCrN層3.0μm、硬質ボンド層5としてCrC0.3μm、硬質炭素被膜層6としてDLC1.5μmである。

【0049】

この拡散硬化層15の効果を調べるため、実施例1で用いた膜構造1と比較検討を行った。

【0050】

図21に、硬さ分布を示す。膜構造1以上に、硬さ分布が傾斜化されていることがわかる。

【0051】

図22に、圧子押込試験による耐荷重性評価結果を示す。膜構造1とほぼ同様な限界押込荷重を示していることから、耐荷重性に優れていることがわかる。

【0052】

図23に、スクラッチ試験による密着性評価結果を示す。膜構造1とほぼ同様な臨界荷重を示していることから、密着性に優れていることがわかる。

【0053】

図24に、分極試験による耐食性評価結果を示す。膜構造1とほぼ同様な孔食電位を示していることから、耐食性に優れていることがわかる。

【0054】

以上のことから、拡散硬化層15を形成した膜構造14は、膜構造1と同様に耐荷重性、密着性および耐食性に優れた膜構造であることがわかる。

【0055】

以上によれば、基材上にボンド層、中間層、硬質ボンド層を形成し、さらにその上に硬質炭素被膜層を成膜し、深さ方向の硬さ分布を傾斜化させることで、耐荷重性、密着性に優れた高負荷摺動下で適用可能な硬質炭素被膜層を提供することが可能である。

【0056】

【発明の効果】

以上、耐荷重性、密着性に優れた摺動部材を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】膜構造1を表す図。

【図2】膜構造7を表す図。

【図3】膜構造8を表す図。

10

20

30

40

50

【図4】膜構造9を表す図。

【図5】膜構造10を表す図。

【図6】膜構造11を表す図。

【図7】膜構造12を表す図。

【図8】膜構造13を表す図。

【図9】膜構造1の硬さ分布を表す図。

【図10】膜構造7の硬さ分布を表す図。

【図11】膜構造8の硬さ分布を表す図。

【図12】膜構造9の硬さ分布を表す図。

【図13】膜構造10の硬さ分布を表す図。

10

【図14】膜構造11の硬さ分布を表す図。

【図15】膜構造12の硬さ分布を表す図。

【図16】膜構造13の硬さ分布を表す図。

【図17】膜構造1, 7~13の耐荷重性を表す図。

【図18】膜構造1, 7~13の密着性を表す図。

【図19】膜構造1, 7~13の耐食性を表す図。

【図20】膜構造14を表す図。

【図21】膜構造14の硬さ分布を表す図。

【図22】膜構造1, 13, 14の耐荷重性を表す図。

【図23】膜構造1, 13, 14の密着性を表す図。

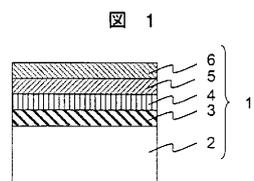
20

【図24】膜構造1, 13, 14の耐食性を表す図。

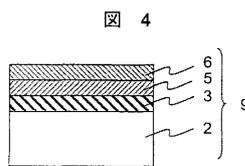
【符号の説明】

1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14...膜構造、2...基材、3...ボンド層、4...中間層、5...硬質ボンド層、6...硬質炭素被膜、15...拡散硬化層。

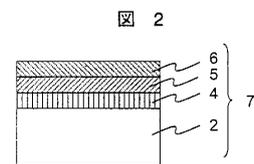
【図1】



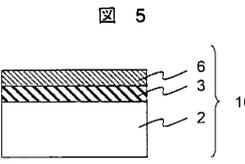
【図4】



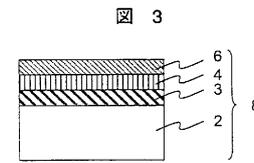
【図2】



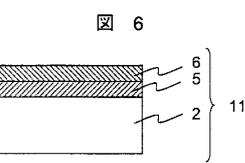
【図5】



【図3】

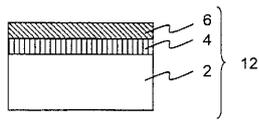


【図6】



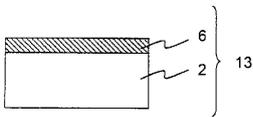
【図 7】

図 7



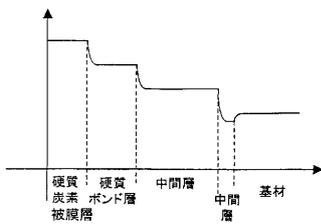
【図 8】

図 8



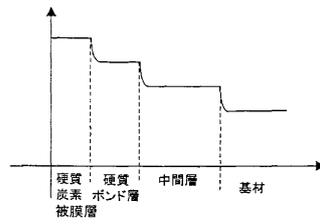
【図 9】

図 9



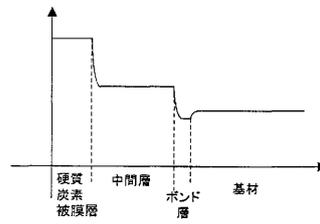
【図 10】

図 10



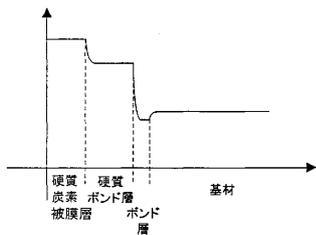
【図 11】

図 11



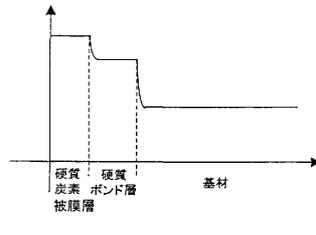
【図 12】

図 12



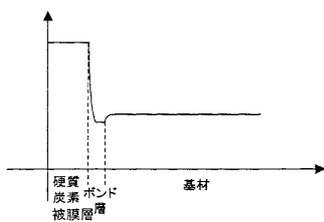
【図 14】

図 14



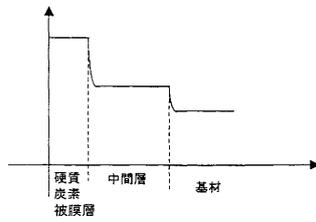
【図 13】

図 13



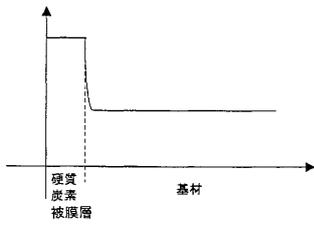
【図 15】

図 15



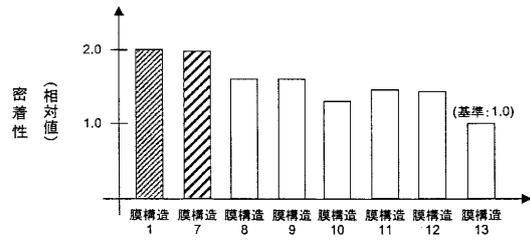
【 図 1 6 】

図 16



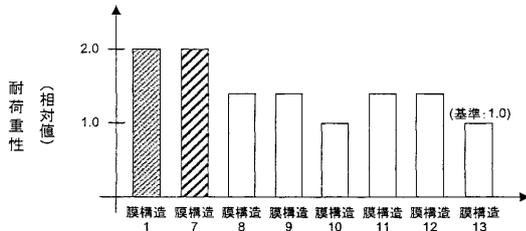
【 図 1 8 】

図 18



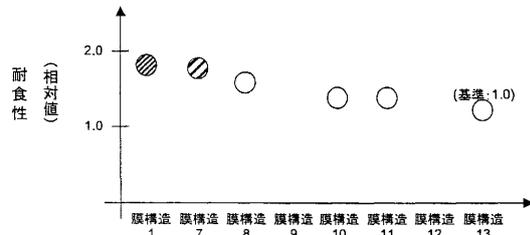
【 図 1 7 】

図 17



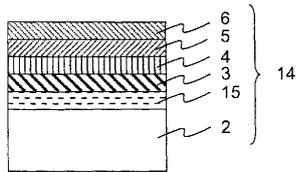
【 図 1 9 】

図 19



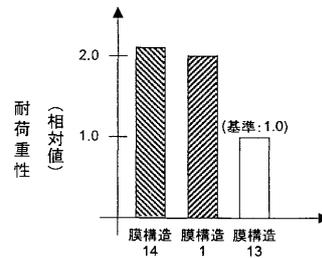
【 図 2 0 】

図 20



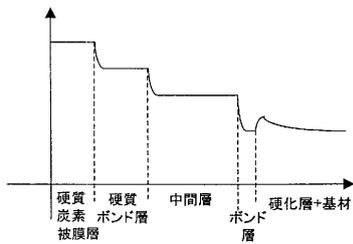
【 図 2 2 】

図 22



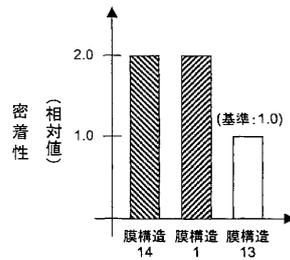
【 図 2 1 】

図 21

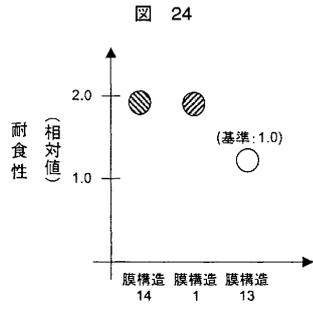


【 図 2 3 】

図 23



【 图 2 4 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 馬場 昇

茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号

株式会社日立製作所日立研究所内

F ターム(参考) 4K029 AA02 AA04 BA03 BA07 BA09 BA17 BA18 BA34 BA35 BA54  
BA55 BA58 BC00 BD04 CA04 CA06  
4K044 AA02 AA03 AA09 AB02 BA02 BA06 BA10 BA18 BA19 BB05  
BB17 BC01 BC05 BC06 CA13 CA14