

N R I M N E W S



科学技術庁 金属材料技術研究所

National Research Institute for Metals

特集 “SPMを用いた研究”

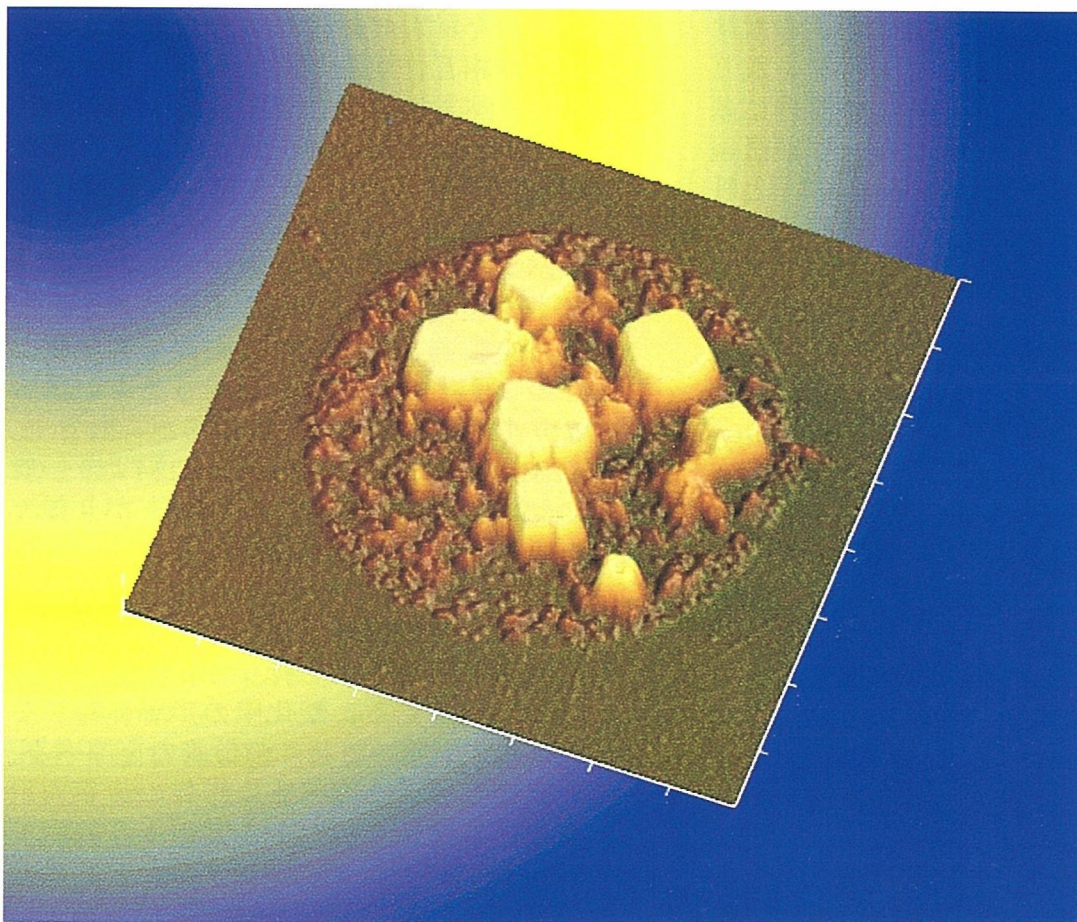
- SPMとは？
- ケルビンフォース顕微鏡による材料の表面評価
- 原子間力顕微鏡から超微小硬さ試験機
- 超高真空STMによる金属ナノ構造体の創製と量子効果測定
- MBE成長その場STM観察装置の開発

科学技術週間報告

- 当研究所の一般公開

研究最先端

- 微細組織変化を考慮した耐熱鋼のクリープ変形解析
- 低エネルギー集束イオンビームによる新しい微細構造作製法



5

1998 MAY

SPMを用いた研究

総論 SPMとは？

今まで多くの科学者は原子を直接見る・動かすという夢を追ってきました。その夢をかなえたのが走査トンネル顕微鏡（STM：Scanning Tunneling Microscope）の出現でした。STMは、1981年スイスのIBM研究所でBinnigらにより発明されました。またSTMが電気を通す材料しか見えない欠点を補うため、絶縁物でも測定可能な原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）をBinnigらはスタンフォード大学と協力して開発しました。これら両顕微鏡とも電圧をかけることにより非常に小さな変形をおこす圧電体でXYZ方向に移動可能なステージを構成し、非常に小さなプローブを走査してデータを取り込み、画像化しています。この原理に基づく顕微鏡は一般に走査プローブ顕微鏡（SPM：Scanning Probe Microscope）と呼ばれ、現在では非常に多くの種類のものが考案されています。例えば、すでに市販されているものでは、STM、AFM以外に表面の摩擦力を測るLM-FFM(Lateral Force Modulation Friction Force Microscope)、表面の粘弾性を測るVE-AFM(Visco-elasticity-Atomic Force Microscope)、表面の電位分布を測るKFM(Kelvin Force Microscope)などがあります。また、SPMの大きな特徴としては真空中から水溶液中いたるまで非常に広い環境中で使用できることと、観察だけでなく種々の加工ができることが挙げられます。このようにSPMは非常に多目的に使用できるのが特徴です。

ここでSPMの代表格であるSTM、AFMの原理を簡単に述べたいと思います。STMは鋭くとがった金属針を電気をとおす材料の表面から1nm（ 10^{-9} m）以下まで

近づけた時に流れるトンネル電流という量子効果によって流れる電流をほぼ一定に保つように制御して試料表面をX-Y方向に走査します。そしてその時各地点の高さ方向の圧電体の変形量を画像化することにより表面形状を表しています。トンネル電流は探針と試料の距離に非常に敏感なので（例えば探針と試料の距離が0.1nm変化するとトンネル電流は約10倍変化します。）、高さ方向の分解能は非常に高く0.01nm程度です。続いてAFMの原理ですが、AFMは鋭くとがった針を付けた非常に小さな柔らかいバネを使います。この針を材料に近付けていきますと原子などの相互作用をはじめとする種々な力が働きバネは変形します。AFMはこの小さなバネの変形量が一定になるように制御して試料表面をX-Y方向に走査します。また最近AFM測定で主流となってきたバネを振動させて測定するモードではバネの振幅が一定になるようバネにかかる力を制御して走査して表面を画像化しています。この手法は振動させない場合より小さな力で走査できるのが特徴です。AFMは高さ方向の分解能はSTMより一般には劣りますが、年々精度が上がり種々の原子もみることが可能になって来ました。

当研究所では原子構造を見る、ナノメートルオーダの加工を行なう、生きた微生物の挙動を見る、酸化膜の半導体特性を調べる、細胞の材料への付着力を調べる、大気腐食機構を調べる、材料の極表面近傍の硬さ特性を調べるなど色々な分野でSPM測定が行われていますが、今回はその中の一部を紹介したいと思います。

SPMを用いた研究

ケルビンフォース顕微鏡による
材料の表面評価構造体化ステーション
升田 博之

原子間力顕微鏡（AFM）の応用手法であるケルビンフォース顕微鏡（KFM）は材料の表面形状と表面電位分布を同時に測定するものです。表面電位は材料自身の特性や材料の表面の状態によって変化します。例えば材料の表面に薄い酸化膜が存在する場合と存在しない場合では、表面電位は異なります。また大気腐食で材料の一部が腐食している部分と腐食が終わっている部分では電位は異なります。このように電位分布を測定することにより、表面形状観察だけではわからないサブナノメータ（ 10^{-9} m以下）の情報を得ることができます。この技術は非常に新しいもので、当所でもいち早くこの技術に注目して世界に先駆けてこの技術の適用を試みました。そして最近では表面に形成される数ナノメータの酸化皮膜のみでなく、サブナノメータの水膜の厚さの分布なども測定できる可能性があることがわかりましたので紹介します。

実験は不純物による影響を避けるため、純金よりも高価な純度99.9998%以上の鉄を用い、水を用いずに表面を研磨した試料を使用しました。その表面に純水を一部たらして乾燥させた時の表面形状像および電位分布像の1例を図に示します。電位分布像に表面形状像から予測できない模様のようなものが至る所に観察されます。この模様が水膜の厚さの違いから来ることを確かめるために、電位の模様部分を探針を試料に接触させたコンタクトモードで走査した後その部分をKFMで観察しますと、電位の模様が消え、さらにコンタクトモードで走査した領域の外側に水滴の塊が観察されました。このことか

ら表面に存在した水膜の厚さの差が電位に反映されたものと推定されます。また水をかけた部分はかけなかった部分に比べて150mV以上電位に差が観察されます。これも表面形状観察だけではわかりませんが、KFMを用いると表面状態の違いを明瞭に知ることができます。サブナノメータの水膜は層状グラファイトやマイカのように原子レベルのフラットな面では観察することが可能ですが、研磨したような凸凹の激しい面では不可能です。このようにKFMは光触媒や大気腐食のように薄い水膜が関与する研究の今後切り札となると考えられます。

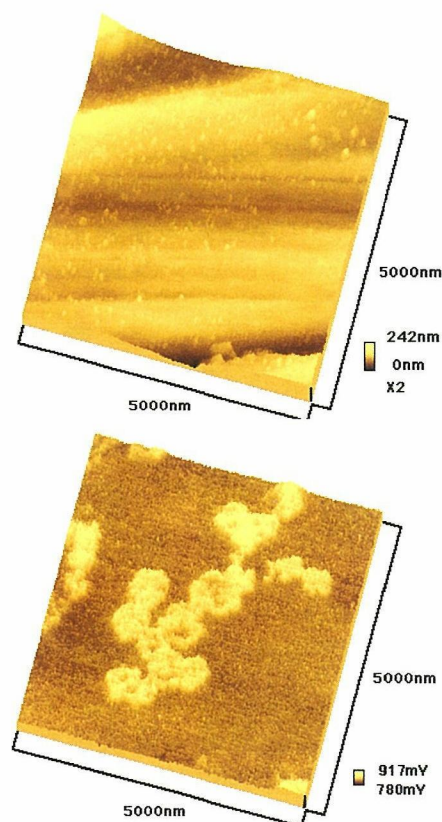


図 純水をかけた純鉄の表面形状像(上)と電位分布像(下)

SPMを用いた研究

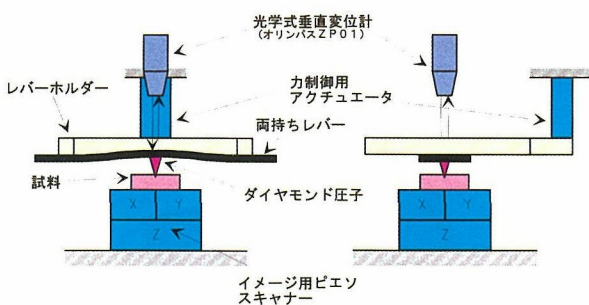
原子間力顕微鏡から
超微小硬さ試験機

—ナノ領域で力学特性を評価する道を切り開く—

評価ステーション
松岡 三郎

鉄鋼材料は高層ビル、長大橋、船舶等の巨大構造物に使用されています。鋼は肉眼では均一に見えますが、微視的には直径数十 μm の結晶粒の集まりです。そのため、鋼を安全に使用したり、さらに高強度化を図るためには、 μm あるいは nm 領域を対象とする研究が必要となります。今まで、このような研究は電子顕微鏡や分析装置を用い、結晶粒の組織を観察したり、組成を分析することが主流でした。しかし、鋼は強度が最も重要であるので、結晶粒個々の力学特性を求めることが長年の夢でした。

我々のグループでは、原子間力顕微鏡を基に超微小硬さ試験機を開発し、この夢を実現しました。図1に超微小硬さ試験機の模式図を示します。通常の原子間力顕微鏡に比べ、両持ちレバーの使用や押し込む力を制御するための一軸アクチュエータを追加したことが大きく異なり、この2点の工夫が開発のポイントとなっています。



AFM超微小硬さ試験機の模式図

図1 原子間力顕微鏡を基に開発した超微小硬さ試験機

図2は鉄単結晶で得た押し込み力—深さ曲線です。不連続点から降伏応力、それ以下の曲線から弾性定数、最大深さから硬さが求まります。図の横軸の単位が nm であることから、これらの力学特性が nm

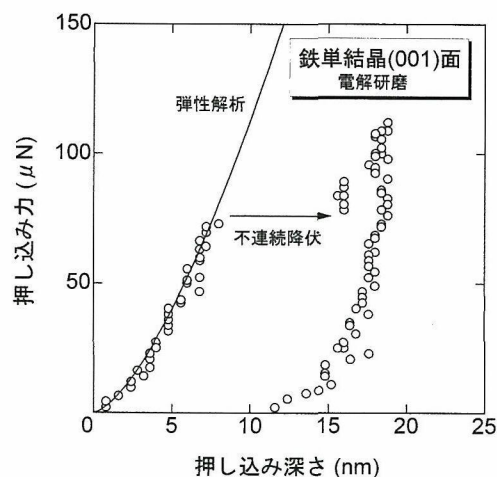
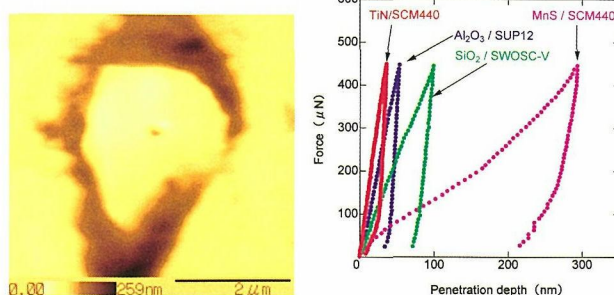


図2 鉄単結晶の押し込み力—深さ曲線

領域で求まることになります。図3は種々の鋼の結晶内にある介在物の超微小硬さ試験結果です。約 $2\mu\text{m}$ の介在物の中心に圧子が押し込まれた圧痕があります。押し込み力—深さ曲線からは、TiN系介在物が最も硬く、MnS系介在物が最も軟らかいことがわかります。

このように、 nm 領域で力学特性が求まるようになると、鋼において新しい研究ができるようになるのは無論ですが、半導体素子中の薄膜構造のような他の分野においても大きな成果を上げることが約束されています。



(a) シリカ系介在物の超微小硬さ試験後の原子間力顕微鏡像 (b) 4種類の介在物の押し込み力—深さ曲線

図3 種々の高強度鋼中の介在物の超微小硬さ試験結果

SPMを用いた研究

超高真空STMによる金属ナノ構造体の創製と量子効果測定

極高真空場ステーション
藤田 大介

ナノメートルスケールの世界では量子力学的な効果が顕著になり、このスケールの構造(ナノ構造)特有の新しい物性が観察される可能性があります。ナノ構造においては、サイズ効果、単一電子効果、電子波の干渉効果などに起因する様々な現象が存在するため、画期的な量子デバイスとしての応用が期待されています。ナノ構造体を創製・解析する手段としては原子の突起を有する走査トンネル顕微鏡(STM)が必要であり、表面の清浄性を長時間保つためには超高真空環境が必要となります。当研究所では 10^{-9} Pa以下の超高真空環境において動作するSTMを用いてナノ構造体を人工的に創製し、ナノ領域におけるメゾスコピックな物性や量子効果の発現に関する研究を行ってきました。現在までに得られた成果のいくつかを以下に紹介します。

図1は金属ナノクラスターを清浄なSi(111)再構成表面上に創製した例です。チップと表面の間に印加する電圧パルス条件を最適化することにより、純金のチップ先端から金原子をSi表面に電界誘起移送することができました。これにより原子レベルで清浄度が確認された表面上の任意の位置に金のナノドット(点状のナノ構造体)を創製することに世界で初めて成功しました。電圧パルス法はナノドットを創製することにおいて優れていますが、ドット同士を連結するのは不得手です。この欠点を克服するために、新たにZ軸ピエゾに対してパルス電圧を印加しナノ領域の点接触を形成させることによって安定にナノドットを付着させる手法(Zパルス法)を開発しました。これにより互いに連結した金のナノドット列(ナノワイヤ)

を創製することが可能となりました。これらナノスケールのドット及びワイヤからなる構造体を表面上に配置することにより、電子一個を単位として駆動可能な単一電子素子を創製することも可能となります。現在、ナノデバイスを原子レベルで清浄な表面上に創製し、かつその電気特性を測定するための超高真空一貫システムを開発しております。

次にSTMにより量子効果を測定した例を紹介します。我々は、2次元性の強い表面状態を有する固体表面を低温でSTM観察することにより、フェルミ面近傍の2次元自由電子波の引き起こす干渉効果を可視化することに成功しました。図2はこのような2次元フリーデル振動を金の(111)再構成表面上で観測したものです。単原子層のステップ近傍において顕著な振動構造が見えます。我々はこのSTM像を2次元フーリエ変換処理することにより逆格子空間における金の2次元フェルミ面を抽出することに初めて成功しました。この手法はこれまで不可能であった孤立したナノ構造体におけるフェルミ面の解析手段となりうる点で画期的なものです。

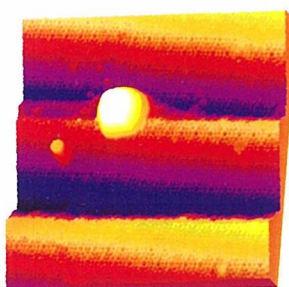


図1 原子レベルで清浄なSiの表面上に電圧パルス法により創製した金のナノドット

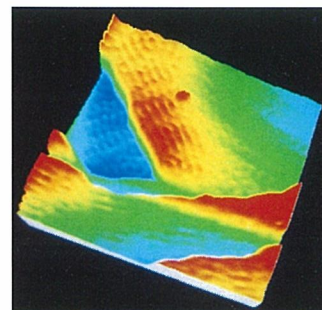


図2 金の(111)再構成表面上の2次元自由電子波の干渉による状態密度の振動

SPMを用いた研究

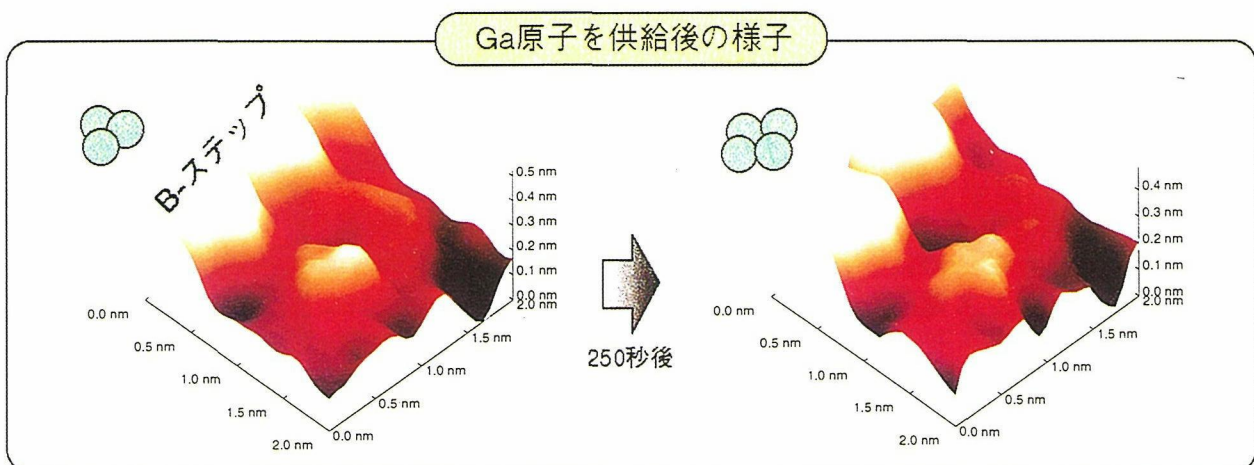
MBE成長その場
STM観察装置の開発極高真空場ステーション
塚本 史郎

結晶成長において、成長の様子をその場観察することは、高品質で複雑な成長を行う上で極めて重要です。特に近年盛んに研究されている量子ナノ構造の作製には原子レベルでの均一性が要求され、成長のその場観察手法は不可欠です。現在、すでに電子線や光などを用いる手法が実用化され、広く使われています。しかし、これら従来の手法では、実空間を原子レベルで評価することはできません。そこで、原子レベルの空間分解能を持つ走査型トンネル顕微鏡（STM）を評価手段とする方法が多く検討されてきました。しかし、化合物半導体用結晶成長装置である分子線エキタピシイ装置（MBE）ではその原料の蒸気圧が高く、また機器の振動などにより、MBE内でのSTM観察は、難しいとされています。

そこで、その解決策として、大きなクリアランスを持つ試料ホルダー、STM本体全体を覆う防熱保護シールド、真空中STM上下機構を導入して、STMとMBEの完全一体化を検討しました。この試料ホルダーは、MBEの基板加熱機構との間に

通常のホルダーより大きなクリアランスを持ち、STMとMBEを合体した時、MBE側より影響する振動を遮断することができます。また、探針用の針穴を除くSTM本体全体を防熱保護シールドで覆い、高蒸気圧雰囲気と基板加熱に伴う放射熱からSTMを守ります。さらに、真空中でSTM全体を上下する機構を導入して、STMその場観察が不要な長時間の結晶成長時などに、STMを下降して、格納保護することができます。

この装置を用いて、化合物半導体GaAs表面上でのGa吸着原子の振舞いについて調べました。この系は第一原理計算を用いた多くの理論研究がなされていますが、実験的な検証はこれまでありません。その結果を下図に示します。B-ステップと呼ばれる原子の段差（左側の白い山並み）近傍にGa吸着原子が三角形をなすように集まってきているのがわかります。もう一つGa原子が加わると右図のように三角形が四角形に変化します。この原子が集まる位置は理論計算で予測されていたGa原子の最も安定な吸着位置と一致します。



科学技術週間報告

当研究所の一般公開

材料創製ステーション
宗木 政一

4月16日から18日の3日間にわたり当研究所では、科学技術週間行事の一環として一般公開ならびに青少年行事を行いました。

16日は、千現及び桜地区が対象の一般公開が行われ、講堂で研究目標や成果の概要を紹介し、研究の詳細や装置の公開などは実験室および実験棟にて説明しました。17日には、東京地区の材料試験事務所が公開され、1階ロビーでビデオを用いて研究内容を紹介し、2階の試験室ではクリープ試験について説明しました。

18日の青少年行事は、子供たちが積極的にいろいろな材料に触れて科学に関心を持ってもらうことを目的としています。今年は、『金属の強さを調べる』をメインテーマとし金属に接してもらうことにしました。金属を引っ張って強さを調べる実験では、ゴムやアクリルなどを鉄鋼と形も大きさも同じにし、破壊されるまで試験機で引っ張りました。これは鉄鋼が断然強い結果を示し、ゴムはよく伸びてなかなか切れないことがわかり、アクリル板については破壊した破面にどこから破壊し始めたかが見られました。また、金属の粘り強さを調べる実験にシャルピー衝撃試験機を使い、試験片が破壊したときに上がる歓声と、破壊試験片の争奪



戦は迫力がありました。そして、実際に手を動かしてもらい金属に触れる体験コーナーとして、ハンマー片手にポンチをたたいてネームプレートを作るコーナー、スポット溶接機を使って飾りものを作るコーナー、引っ張り試験で壊した試験片を実体顕微鏡で覗いてみるコーナーなどがあり、各コーナーとも熱気に包まれていました。

今回の青少年行事で特に印象に残ったことは、中学生が帰り際に『とても楽しかった来年もまた来たい』、『もっと早く金属のことを教えてくれたらテストでいい点が取れたのになあ』とか、車の中から大きな声で『さようなら』という子がいたことです。それと忘れてならないのは、終了時間がくるまで顕微鏡から離れずいろいろなものを持ってきてはのぞいている子がいたことです。

科学離れが進んでいる時代ですが、子供たちが興味を持つことから接していけば科学を好きになる子供も増えるのではないかと思います。



微細組織変化を考慮した 耐熱鋼のクリープ変形解析

—炭化物析出がクリープ変形速度に及ぼす効果—



評価ステーション
阿部 富士雄

鉄鋼材料の場合、450℃程度以上の高温では小さな応力のもとでも変形が時間とともに徐々に進行するクリープと呼ばれる現象が起こります。火力発電所のボイラやタービン（写真）などは高温で10年ないし数10年もの長期間使用されるため、クリープによる変形や損傷が問題になります。高温で使われる材料を耐熱鋼や耐熱合金と呼んでいますが、耐熱鋼には、高温強度は大きいが比較的高価なオーステナイト系耐熱鋼と、高温強度は若干低いが廉価で大量に使用されているフェライト系耐熱鋼があります。当研究所では、国産の主要な耐熱鋼および耐熱合金の10万時間クリープ破断強度（荷重を負荷してから10万時間後に材料が破断する強度）データの取得を主目的としたクリープデータシート作成プロジェクトを30年以上にわたって実施してきました。また、平成9年4月に発足したフロンティア構造物材料研究センターでは、超鉄鋼材料研究の一つとして、650℃で長時間使用可能なフェライト系耐熱鋼の研究開発を開始し、クリープ強度の向上を目指しています。このように、耐熱鋼のクリープに関する研究を積極的に展開しています。

クリープ試験では、通常、温度を一定に保持して引張応力のもとで試験片の変形量（伸び）が時間とともにどのように増大するか、また、破断に至るまでの時間を測定します。変形や強度といった機械的性質は、材料のミクロな組織（微細組織）に敏感に影響されますが、微細組織は高温では一定でなく時間とともに変化していきます。従って、変化しつつある微細組織を考慮したクリープ変形解析が必要です。ところが、実用耐熱鋼では、

強度を上げて変形しにくくするために微細組織をわざと複雑にしている上にいくつもの変化が平行して進行するので、クリープ中の微細組織変化全てを定量的に表わすことは非常に困難です。

本研究では、炭化物（金属原子と炭素原子の化合物）が耐熱鋼強化の主要な因子の一つであることに注目し、クリープ中に $M_{23}C_6$ （Mは金属原子、Cは炭素原子）炭化物のみが析出するモデル合金を作成して、クリープと析出が平行する場合のクリープ変形速度のモデル化を基礎的観点から研究しています。

予め熱処理によって炭素(C)を合金中に過飽和に固溶させた0.55% C-10% Cr-30% Mn オーステナイト鋼を600℃で最長1万時間程度までクリープ試験したときの、クリープ変形速度($\dot{\epsilon}$, クリープ速度ともいいます)と試験時間(t)の関係を図に両対

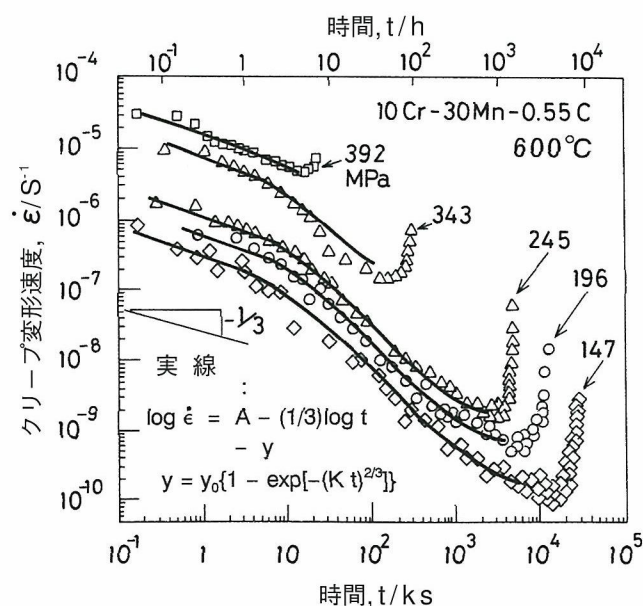


図 0.55% C-10% Cr-30% Mn オーステナイト鋼のクリープ変形速度と時間の関係

数表示で示します。クリープ変形速度は、始め時間とともに減少していき、最小値を経過した後、逆に時間とともに加速され破断に至ります。最小値に到達するまでを遷移域、到達後を加速域、最小値を最小クリープ速度と呼んでいます。応力レベルが低いほどクリープ変形速度は全体に小さくなり、破断時間も長くなります。クリープ変形速度の時間依存性を見ると、炭化物の析出がまだほとんど始まらない極く短時間(1時間以内)では勾配が $-1/3$ の直線ですが、長時間になるにつれ炭化物の析出が顕著となりクリープ変形速度は短時間側の直線の外挿値よりさらに小さくなり

$$\log \dot{\epsilon} = A - (1/3)\log t - y \quad (1)$$

と表せます (Aは定数)。右辺第2項の $(1/3)\log t$ は、クリープ変形によって形成される転位セルによる変形抵抗と関係すると考えています。右辺第3項の y は、炭化物の析出がクリープ変形速度に及ぼす効果を表し、データを詳細に解析したところ

$$y = y_0 \{ 1 - \exp[-(Kt)^{2/3}] \} \quad (2)$$

と表せました。 y_0 は析出する全炭素濃度、 K は析出の速度定数です。図中の実線は、(1)、(2)式に従って計算した曲線で、実験結果をよく表しています。(2)式の時間指数 $2/3$ は析出のメカニズムを考察する上で重要な手掛かりを与えてくれますが、(2)式は鉄中の炭素が転位線上に析出する場合に理論的に導出された式と同じ形をして

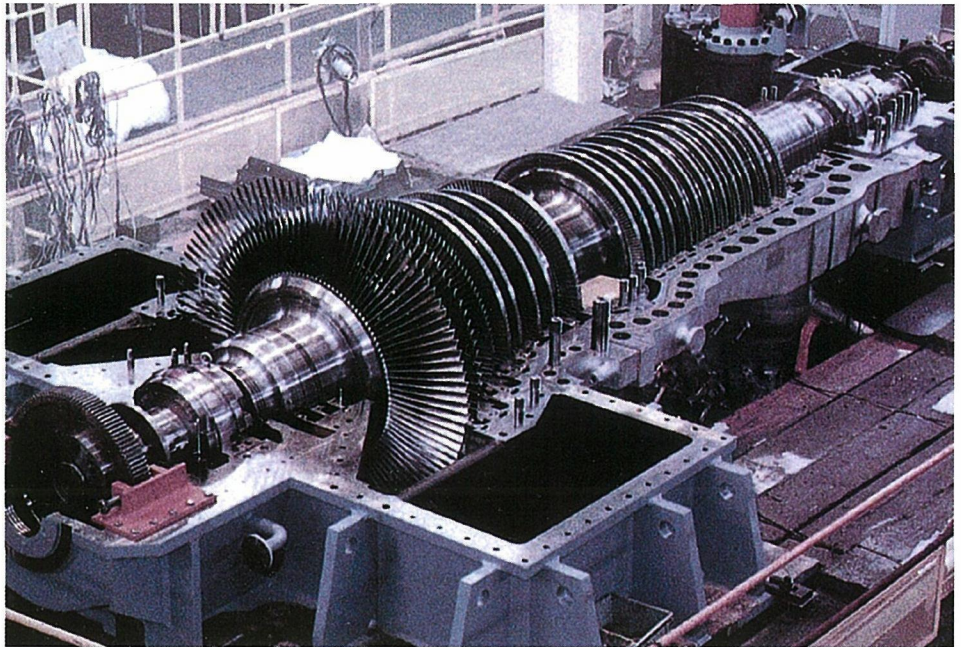


写真 火力発電用の蒸気タービン (耐熱鋼)

います。我々は、はじめ過飽和に固溶していた炭素がクリープ変形初期に形成された転位線上に析出することによりさらにクリープ変形速度を低下させると考えています。また、上式を用いると、炭化物が析出する場合の最小クリープ速度の応力依存性なども定量的に説明できます。 y_0 や K は炭素濃度や合金組成、転位密度などの組織に依存するので、材料や組織を特徴づけるパラメータとして用いることが出来ます。

微細組織変化には炭化物の析出以外にもいろいろあるので、各種材料について、系統的な組織観察とクリープ変形解析を今後とも進めていく予定です。このような研究の積み重ねが、冒頭で述べたクリープデータシートで蓄積してきた長時間クリープ強度特性データのより深い理解につながるとともに、高強度材料を開発する際の合金設計や組織制御の指針につながると考えています。

研究最先端

低エネルギー集束イオンビームによる
新しい微細構造作製法極高真空場ステーション
知京 豊裕

はじめに

集積回路は年々その集積度を増し、また加工技術もより微細になる傾向にあります。しかし、現在のリソグラフィ技術による微細加工は $0.1\mu\text{m}$ が限界とされ、微細構造を作製する新しい技術の開発が急務になっています。また量子効果を使った量子点レーザの開発や量子デバイス作製の観点からも極微細構造作製のための技術開発が必要になっています。こうした要請の中で、当研究所では低エネルギー集束イオンビーム装置を使った微細構造作製法を検討しています。これははじめに半導体表面を特定の元素、例えば、硫黄や砒素で終端し、反応性の少ない表面を作製します。その表面の任意の場所に低エネルギーのイオンを照射し、直接微細構造を作製したり、また、イオンビームにより表面近傍だけの原子を取り除き、その後、分子線に必要な元素を供給することで選択的に結晶成長を行わせるものです。

低エネルギー集束イオンビーム装置

イオン源は液体金属ガリウム (Ga) を用います。液体金属イオン源の特徴として他のイオン源に比べて輝度が高いことが挙げられます。例えばイオン電流密度で比較すると液体金属イオン源は外のイオン源と比べて3から6桁多くのイオン電流を得ることができます。このことを利用すれば表面の加工を短時間でおこなうことができます。イオン源から出たガリウムイオン (Ga^+) は2段の集束レンズで10KVまで加速されビーム径が200nmまで集束されます。その後、4段の減速レンズで100eVから30eVのエネルギーまで運動エネルギーを下げられ、表面に照射されます。表面に到達したイオンが

表面に吸着するか原子をはじき出すかはイオンの持つ運動エネルギーによって決まります。適当な運動エネルギーにすると表面の数原子層の原子を除去することができます。一部の原子が除去された領域は結晶成長のための核として利用することができます。途中に設置された走査電極に適切な電位を与えることでイオンビームを任意の場所に照射することができます。イオンビーム走査によって表面に発生する2次電子はマルチチャンネルプレートで検出し、この信号から2次電子像を得ることができます。

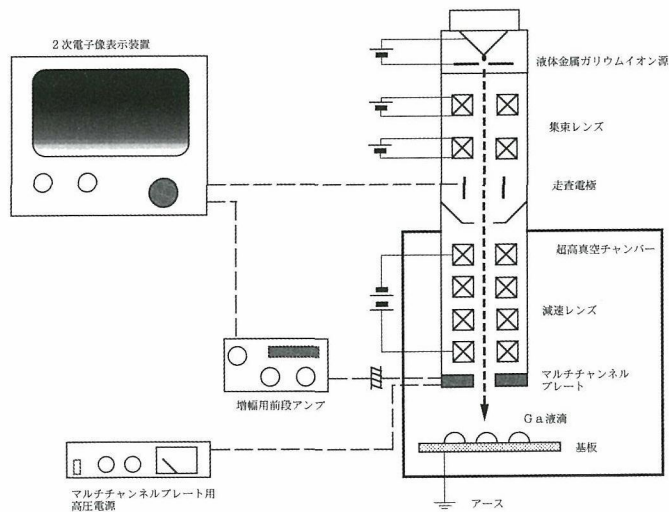


図1 低エネルギー集束イオンビームの概念図

半導体表面の安定化

半導体表面に特定の原子を吸着させると反応性のない安定した表面をつくることができます。例えばガリウム砒素 (GaAs) 表面を硫黄で終端するとガリウム (Ga) と硫黄 (S) の強い結合のために安定した表面をつくることができます。またシリコン (Si) の表面を砒素 (As) で終端すると表面で結合に関係するすべての未結合手が電子

で埋まり、反応性の低い表面をつくることができます。特にシリコン表面に関しては砒素があるときの表面自由エネルギーは $0.3\text{eV}/\text{結合}$ 、シリコンだけで構成された表面では $1.3\text{eV}/\text{結合}$ と両者には大きな差があります。このような性質を利用して砒素終端シリコン表面の一部の砒素を除去し、結晶の選択成長の場所を与えることができます。このことを図2に模式的に示します。

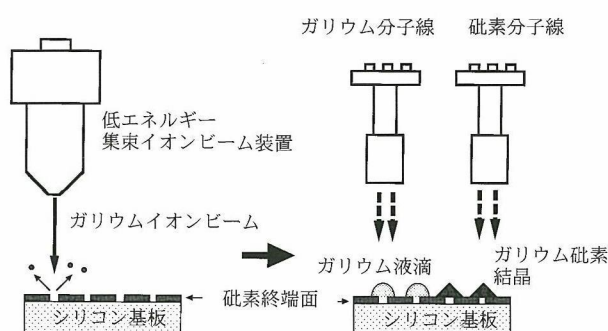


図2 低エネルギー集束イオンビームと分子線エピタキシー法を組み合わせた選択成長法

- (1) はじめに砒素で終端されたシリコン表面の一部を低エネルギー集束イオンビームで除去します。
- (2) 次にガリウム分子線を供給してガリウム液滴を形成し、
- (3) 次に砒素分子線を供給することでガリウム砒素結晶を成長させます。

選択成長の実験

シリコン基板を砒素雰囲気の中で 1200°C で加熱して清浄表面を得ると同時に表面を砒素で終端します。このとき砒素はシリコン表面で (2×1) という構造をとります。これはシリコン原子の上に砒素原子が結合し、2つの砒素原子が近寄って列を構成している構造です。この表面を 100eV の運動エネルギーを持つガリウムイオンを室温で照射して一部の砒素を除去します。イオンビームは格子状に走査され、各点の照射時間はわずか 0.25 秒です。このエネルギーでこの表面にガリウムイオンを照射すると表面の1、2原子層が除去されると推測されます。そして、この表面に基板温度 500°C でガリウム分子線を照射します。この時の表面の様子を図3に示します。

大きさ 200nm から 300nm の5、6個からなるガリウム液滴群が格子状に配列している様子が観測できます。これは砒素終端されたシリコン表面と分子線として供給されたガリウム原子が反応せず、表面を拡散し、下地のシリコン面が露出した箇所、まず、ガリウム層を1原子の厚さ構成し、その上に余分なガリウムが液滴を形成したためです。ガリウム液滴群の間隔は走査するイオンビームの照射間隔で、また、大きさは供給するガリウム原子の数で制御することができます。

砒素で終端されたシリコン表面は結合に関与できる未結合手がいないために、砒素を供給してもそれ以上付着しないとされています。この表面に砒素を供給すれば、イオンビーム照射により砒素が取れた領域にガリウム液滴から元素の供給を受けながらガリウム砒素の結晶が選択的に成長すると考えられます。

基本的に減速後のイオンビーム径はイオンどうしの反発によって広がります。この広がり具合はイオン電流によって変わります。例えばイオン電流が 100pA の場合、最終的なイオンビーム径は $1\mu\text{m}$ 程度になります。今後はイオン電流をより少なくし、ビーム径をさらに小さくしてより微細な結晶を制御性よくより短時間で形成できるよう研究を進めていきます。

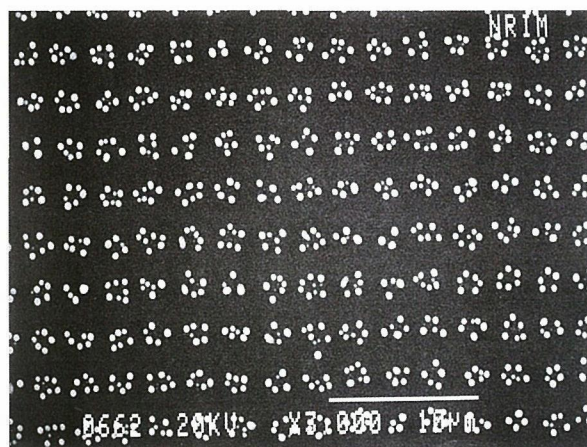


図3 格子状に形成されたガリウム液滴群
大きさ 200nm から 300nm の大きさのガリウム液滴群が格子状に配列している様子が観測されます。

人事異動

平成10年4月30日
辞職 渋谷文義（管理部庶務課長）

平成10年5月1日
採用 管理部庶務課長 皆川勝浩（日本原子力研究所）

受賞 Congratulations!

日本金属学会金属組織写真佳作賞

小川一行、菊地武丕児、梶原節夫、松永 健、宮崎修一

日本金属学会金属組織写真奨励賞

村山光宏、宝野和博

日本鉄鋼協会西山記念賞

長井 寿

日本機械学会奨励賞

井上忠信

日本金属学会功績賞

宝野和博

日本機械学会賞

松岡三郎、宮原健介、長島伸夫、田中紘一

日本金属学会金属組織写真奨励賞

蔡 安邦、高倉洋礼

日本鉄鋼協会西山記念賞

阿部富士雄

日本金属学会金属組織写真入賞

洪 文憲、宝野和博

日本金属学会功績賞

升田博之

■お詫び■ 3月号の12ページの受賞の欄において国際金属組織写真コンテスト佳作賞の受賞者が菊地武丕児となっておりますが、小川一行、菊地武丕児、梶原節夫の間違いです。謹んでお詫び申し上げます。

ミニ辞典

単一電子効果

- ☐ 微小な電極とトンネル接合の組み合わせで構成
- ☐ されるメゾスコピックな構造体において観測され
- ☐ る効果で、電子のトンネル現象が電子1個分の静電
- ☐ エネルギーの変化によってオン・オフされる現象
- ☐ を示す。この効果は一般に極低温においてのみ観
- ☐ 測されるが、構造をナノスケールにすることによ
- ☐ り室温においても観測することができる。単一電
- ☐ 子効果を利用したデバイスは電子一個を単位とし
- ☐ て制御できるため次世代の素子として大いに期待
- ☐ されている。

2次元フリーデル振動

ある種の金属単結晶の表面には表面特有の状態（表面状態）が存在し、ほとんど自由な電子として2次元平面内を運動している。一方、金属の表面は無数の単原子層のテラスが存在する。このような2次元自由電子はテラスの端（ステップ）において反射されるので、入射波と反射波との干渉によって定在波が発生する。その結果、表面自由電子の電荷密度にも波の干渉が現れ、規則的な振動構造（2次元フリーデル振動）を生じる。低温では電子が散乱されずに進む距離が室温よりもはるかに長くなるので、フリーデル振動を走査トンネル顕微鏡によって観測することができる。

表紙説明

AFMにより金属の表面に付着した海水の塩を見たものです。

■編集後記

新緑の季節となり当研究所も至る所で木々が青々としてきました。新たな年度となりパソコンを打つ手にも力がいります。さて、できるだけわかりやすくをモットーに編集をしていますので、特集「SPMを用いた研究」に使われていた専門用語をミニ辞典でわかりやすく説明しています。

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL.(0298)59-2045 FAX.(0298)59-2049
ホームページ <http://www.nrim.go.jp>

通巻 第474号 平成10年5月発行
編集兼発行人 細川洋治
印刷所 前田印刷 株式会社