

田中固体融合プロジェクト



総括責任者 田中 俊一郎

(株) 東芝 研究開発センター 研究主幹)

研究期間 1993 年 10 月～1998 年 9 月

固体の接合などで界面が形成される過程を原子および原子集団の大きさを動的に解明し、界面近傍における諸現象および界面物性ととも形成支配因子を把握し、融合界面を設計・制御する可能性を探りました。

研究の結果、セラミックス接合時の原子の振る舞いを透過型電子顕微鏡で直視することに成功し、接合過程を支配する素反応や融体の濡れに先行する原子層の存在を初めて明らかにしました。半導体の界面では金属や絶縁層との電位障壁高さを制御しその分布を nm の分解能で画像化しました。界面近傍に残留する応力や歪の分布を最小 25nm の領域で実測し界面電子構造や機械強度への影響を把握しました。従来困難であった AI, W などの易酸化性金属超微粒子の生成と移動・回転・融合および埋込操作などを電子線照射法で可能にしました。

これら研究結果は、界面形成素過程解明だけでなく界面が規定する諸特性の改善に寄与し、界面設計・制御の手法を提言して新規素子創製や材料設計に役立つ可能性を示しています。

成果

セラミックスの接合原子素過程の解明

セラミックスの接合素過程を透過型電子顕微鏡の高温ステージ上および高速高温 X 線法で直接観察することに成功した。これにより SiC ろう接界面では原子数約百個の TiC が不均一核生成・成長する原子素過程が接合を律速することを明らかにし、各種界面相の成長過程が定量解析できた。

異種材料界面近傍の応力・歪分布の実測と物性相関

金属とセラミックスの界面近傍局所での残留応力/歪分布および界面応力勾配を直径 1~100 μ m の様々なプローブで実測する技術を確認し、機械強度と相関を付けた。Si/Silicide 界面では直径 25nm 領域で CBED 法により実測した 0.3%程度の圧縮歪が界面電子構造を大きく変化させることを初めて実測した。

固体の反応性濡れ挙動の見直し

セラミックスへの Ti 系反応性濡れでは、融合初期には nm 厚さの先行層が表面拡散で形成されることが、進行する濡れ前面では 1 μ m 程度の距離だけ Ti 化合物層が先行するが Ti 活量の減少とともにその化合物相も変化することを初めて見出し、従来の濡れ理論の見直しを提言した。

電子線照射による超微粒子生成と融合制御

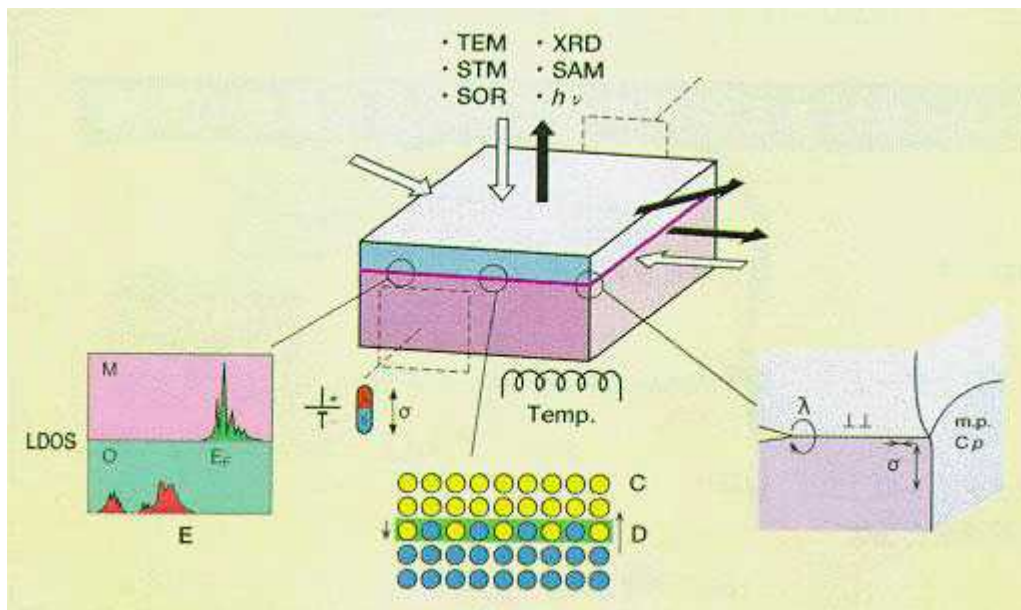
易酸化性のため従来法では得られなかった Al 五角十面体や W、Nb のナノ粒子を準安定酸化物微粒子への電子線照射により初めて生成し、さらに電子線の継続照射により超微粒子の移動・融合・埋込、フレーザー誘起を可能にした。電子線照射による融合制御や原子集団操作および界面設計の可能性を示した。

金属・半導体界面のナノ構造制御

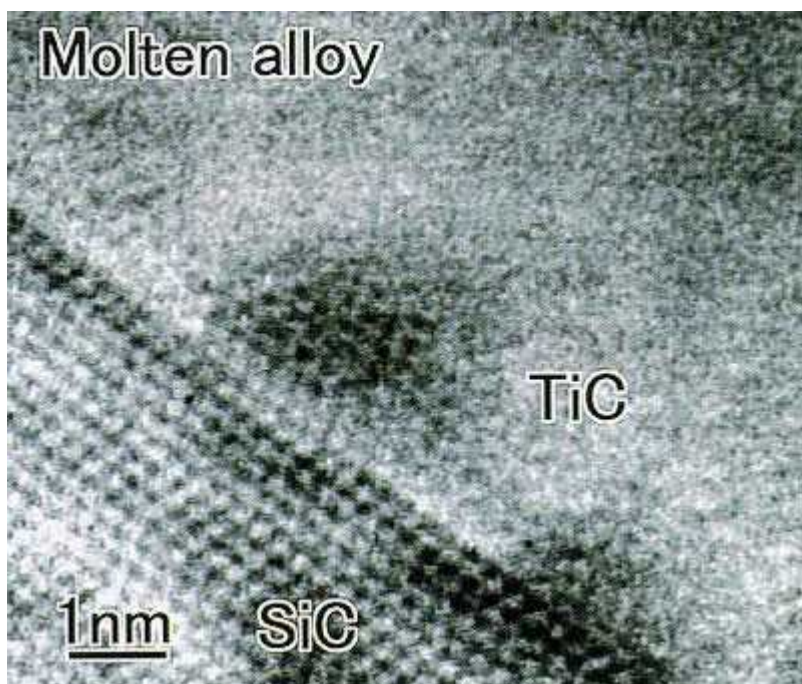
Si 系 MIS 構造で、絶縁中間層を制御して界面電位障壁高さの異なるナノ領域を初めて作製し、弾道電子放射顕微鏡により電位障壁高さ分布を nm の分解能で画像化した。また Si 単結晶基板上で nm の大きさの Si 上に Au が積層した突起状金属・半導体複合体を作製することに成功し、固溶・相分離による生成機構を提示した。

融合界面設計への理論展開<

界面で囲まれた薄層内で結晶が核生成・成長する理論を統計論から見直し、結晶化率の時間変化はバルクでの理論では表せないことを導いた。また界面不整合転位が極低温ではデバイ振動数より小さい振動数を持つ調和振動子のように集団振動することを予測した。



▲固体融合研究の概念図



▲ $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiN}$ 界面の格子像

研究成果

- [研究成果ビデオ](https://www.jst.go.jp/erato/research/old.html)
<https://www.jst.go.jp/erato/research/old.html>

- [研究成果集](#)

https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/tky_pj/results_1993-98_tanaka.pdf