

林超微粒子プロジェクト追跡調査報告書要旨

バルクな物質には見られないすぐれた機能をもつ新素材の創出を目指して、粒径が1~100 nmの超微粒子(ナノ粒子)の作成法ならびにナノ粒子の表面改質法が開発された。ナノ粒子の基本製法はガス中蒸発法で、従来の装置に改良を加えて金属、合金、シリコン、セラミックス、有機物などのナノ粒子を作成している。生成ナノ粒子の基礎物性に関する研究は主に高分解能電子顕微鏡によって行われた。以下に示すように、独立金属ナノ粒子を用いた配線形成技術の開発、鉄ナノ粒子の炭素被膜からの単層カーボンナノチューブの発見およびナノ粒子膜形成の汎用技術の開発は、プロジェクト期間内の基礎的な研究成果と貴重な経験に基づいて達成されたものであり、今後の家電業界やナノテクノロジーのエレクトロニクス関連分野に多大の影響をおよぼすものと考えられる。

金属をナノ粒子にすると、表面活性が増して不安定になり互いに凝集・融合するか、あるいは空気に触れて発火したり酸化被膜を形成したりするようになる。このようなナノ粒子の発生直後の動的挙動を観察して、ビデオ撮影のできる電子顕微鏡装置が初めて考案された。金のナノ粒子の微生物のような動きやナノ粒子同士で融合する様子が撮影されている。

金属ナノ粒子を発生直後の状態に保持するためには、その安定化が重要な研究課題であった。凝集を防ぐ方法として、発生直後の金や銀のナノ粒子に有機溶剤を供給して被覆膜をつくり、独立金属ナノ粒子(当時は孤立金属超微粒子と呼ばれていた)として取り出す方法が考案された。プロジェクト終了後、多くの技術者の長年にわたる研究と印刷技術の飛躍的な進歩があって、独立金属ナノ粒子をナノメタリックインクやナノペーストとして活用した新しいタイプの配線形成技術が開発された。この技術を用いるとあらゆる家電製品の微細な配線形成を低コストで行うことができるので、近い将来の事業化に大きな期待がかけられている。

鉄ナノ粒子は極めて酸化されやすく、その物性を電子顕微鏡で詳細に調べるためには、表面活性を抑えて、空気中での発火を防ぐ必要があった。一つの方法として炭化水素を炭素源に用いて鉄ナノ粒子の表面をカーボンコーティングする試みが行われた。プロジェクト終了後数年を経て、この時撮影した電子顕微鏡写真の炭素被膜部分に単層カーボンナノチューブの結晶が生成していることが見出された。単層構造物はエレクトロデバイスの最重要ナノ素材の一つとして盛んに研究されているが、カーボンコーティングの実験はナノチューブの発見をもたらしただけでなく、その生成における遷移金属の触媒としての関与を証拠立てるものであり、生成機構の解明と合成法の開発にも役立つ情報を提供している。多層構造のカーボンナノチューブがその2年前に発見されているが、この発見もプロジェクト当時の研究活動と密接なつながりがあり、林プロジェクトの存在を抜きにしてカーボンナノチューブ発見の経緯を語ることはできない。

ナノ粒子の品質・特性の評価用に開発されたガスデポジション法は、ナノ粒子の膜形成法として、発生直後のナノ粒子はもとより市販の微粉末製品にも適用できるので、高温超電導体やコンデンサー用の高誘電体など、機能性セラミックス微粉末の膜形成技術として注目されている。

真空蒸着装置を用いたナノ粒子の薄膜形成も試みられている。電子線であらかじめ吸着サイトの極細微パターンを形成したシリコンウエハー基板上に金を蒸着してから基板を加熱すると、20~40 nm径の金のナノ粒子が自己形成的に格子状に配列する。現在、世界中で粒径10 nm以下の量子ドットづくりが盛んに研究されているが、林プロジェクトではボトムアップ方式による量子ドットづくりがこの時点ですでに実施されていた。