

研究目標

●重点課題 1—情報：「超高速・超高密度記録および量子情報処理技術の極限」

本グループが発見した円偏光のフェムト秒パルスによって磁化が直接反転するという新しい物理現象「光誘起超高速磁化反転現象」を始めとして、近接場光記録、自己組織化を利用して作製する磁気材料開発を総合的に進め、従来の記録速度、記録密度の限界を打破する**超高速・超高密度記録の極限**を追求する。

従来の限界を超えた大容量通信、スーパーコンピューターを遥かに凌ぐ極限高速計算、原理的に盗聴・解読不可能な極限暗号通信の実現を目指して、**量子情報処理技術の極限**を追求する。具体的には、量子情報処理に必要な、①単一光子源の開発、②低雑音単一光子検出器の開発、光子数識別器の開発、③量子メモリーの開発、④量子ビットデバイスの開発を行う。あわせて、光とナノ構造体の相互作用で重要となる光-プラズモン変換の物理過程の解明を行い、プラズモニックデバイス創生の可能性を探る。

●重点課題 2—エネルギー：「ナノ構造による太陽光エネルギー利用技術の極限」。

ナノ構造やナノプロセスを開発、利用することによる**太陽光エネルギー利用技術の極限**を追求する。具体的には：①ナノ分子組織体（超分子）の構築、分子組織体中の光励起、励起エネルギー移動、電子移動反応とそれによって引き起こされる触媒反応を理解、制御することによる人工光合成、②独自の新概念の光アシスト水素貯蔵、③水素を電力に変換する高強度燃料電池、④ナノ構造の光閉じ込め効果を利用した安価で高効率な色素増感型太陽電池、さらに、⑤光合成細菌を利用した太陽光エネルギーによるバイオ反応、をそれぞれ開発し、太陽光エネルギーの高度利用サイクルを構築する。

●重点課題 3—医療：「医療応用のためのナノバイオ技術の極限」。

本グループでは、ナノバイオロジー、ケミカルバイオロジーを利用した診断・治療の試みを既に行っており、これに理工学部、文理学部のグループで開発するナノ物質を用いた技術を、新しい**医療応用のためのナノバイオ技術の極限**として追求する。具体的には：①癌早期診断バイオマーカー等に対し、これを標的とする探索プローブ化合物を合成する。②このプローブに発光性化合物を結合させた癌診断用探索プローブを開発する。③同探索プローブによる血液等の検体を用いた *ex vivo* 診断検査系を確立する。④さらに *in vivo* 画像診断検査系への応用を検討する。⑤プローブの癌特異性を検討後、殺細胞性物質をプローブと結合させた合成化合物や遺伝子発現調節をゲノム領域特異的に制御することで癌治療への応用を試みる。さらに、同様の取り組みの生活習慣病や難治性疾患に対する診断治療への応用を試みる。

●基盤課題：「ナノ物質系と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出」

本プロジェクトの重点課題の目標達成のためには、ナノ物質、ナノ構造の科学と技術が基盤となる。基盤グループでは、そのためのナノ物質、ナノ構造と光の相互作用を中心とした基礎科学の開拓、基盤技術の開発を進める。自己組織化をはじめとするボトムアップ、電子線リソグラフィーをはじめとするトップダウン、そしてナノレベルでの反応制御を駆使することによって、ナノ構造、ナノ物質を作製し、構造解析、物性計測を行う。これらの実験研究とあわせて、量子力学理論によるモデル構築、数値計算とが一体となって、ナノ領域の光・量子物性を解明し、情報、エネルギー、医療に利用するための基盤材料、基盤技術を提供する。本グループは、研究者の相互交流の場ともなり、異分野横断型の本プロジェクトを一体として進めるための基盤となる。

表 1. 研究開始時に設定した達成目標

項目	現状	本研究の特色	目標
重点課題 1—情報：超高速・超高密度記録および量子情報処理技術			
書き込み速度	0.25 Gbits s ⁻¹	光直接磁化反転	25000 Gbits s ⁻¹ (10 万倍)
媒体記録密度	0.2 Tbits inch ⁻²	自己組織転写ナノ磁性体	2 Tbits inch ⁻² (10 倍)
書き込み密度	0.6 μm ² /bit	熱近接場書き込み	0.003 μm ² /bit (200 倍)
単一光子源	発生効率<10%	量子ドットによる単一光子発生	30%
低雑音単一光子検出器	量子効率 1% 暗計数~10 ⁻⁸	超電導細線による単一光子検出	50%, 10 ⁻⁸
光子数識別器	分解能 0.2 eV 繰返 100 kHz	超電導転移端センサでの光子数識別	0.2 eV, 1 MHz
量子メモリー	1 ms, 極低温	原子集団・ボース凝縮体利用	10 ms
量子ビットデバイス	量子効率~1% 動作温度<0.3 K	THz 帯光プラズマ励起量子ビット	>5%, 室温—1.8K
重点課題 2—エネルギー：ナノ構造による太陽光エネルギー利用技術			
超分子水の完全光分解	存在しない	光吸収, 酸化, 還元触媒を超分子化	初めて実現
光アシスト水素吸蔵	概念から新しい	独自に発見した光脱離現象	量子収率>0.1 >6 質量%
高強度燃料電池	破壊強度 60 MPa 作動温度 900 °C	マイクロ・ナノ粒子からの新合成プロセス	強度 2 ~ 5 倍, 600°C
安価な色素の色素増感太陽電池	エネルギー変換効率 3%	ナノ構造による光閉込め効果を利用	5%
光合成細菌利用光反応	速度 34 nmol/h/mg	遺伝子導入光合成細菌	1 桁上昇させる
重点課題 3—医療：医療応用のためのナノバイオ技術			
癌探索プローブの開発	候補検討中	癌特異的生体物質認識化合物の同定	初めて実現
生体蛍光・発光物質の開発	安全性, 感度に問題	独自に高感度の低波長蛍光物質を合成, さらに安全性の高いものを開発	癌特異的生体物質の化合物による検出
ex vivo 診断検査系の確立	診断率が低い	高感度で高特異性癌診断検査法を開発	診断率 80%以上 擬陽性率 10%以下
in vivo 画像診断検査系への応用	癌早期診断は困難	癌早期画像診断技術の向上と安価な検査機器の開発への道を開く	生体に使用可能な化合物候補を合成
癌治療他の難治性疾患への応用	非癌部へ影響, 対象疾患検討	癌特異的な殺細胞物質の誘導, 生活習慣病・難治性疾患の診断治療	臨床前試験の開始