

3.4 基礎先端部門

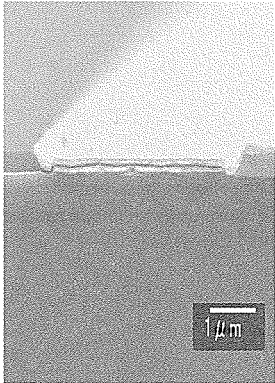
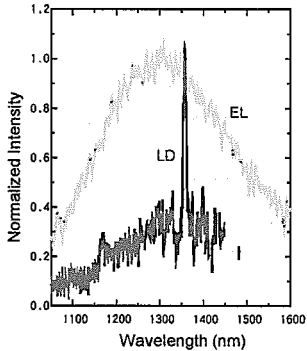
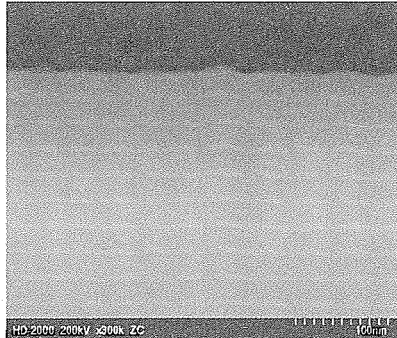
3.4.1 光情報技術グループ

中期計画期間全体	目 標
	<p>光情報通信技術の研究を遂行する。光情報通信システム、特にタンジブルな部分に焦点を定め、デバイス技術からシステム技術にわたる要素技術につき研究を進める。中間時の具体的な達成目標は、革新的システムの実現につながる要素技術を提案することである。最終的には、提案技術の実用性、有効性を確かめることを目標とする。</p>
	<p>目標を達成するための内容と方法</p> <p>(1) 光集積デバイス技術：金属光導波路技術、非線形光量子ゲート、機能性フォトニック結晶技術 (2) ミリ波フォトニクス技術：ミリ波帯高感度光変調デバイス技術、集積光制御デバイス技術、10GHz帯高感度光変調デバイス技術、無電源光変調デバイス、ミリ波帯平面アンテナ技術、光給電アンテナ技術 (3) 光周波数基準技術・有効利用技術：光絶対周波数コム生成技術、高精度光周波数相対基準発生技術、超高密度光信号多重化技術 方法：それぞれについて、理論的、実験的に研究を進める。外部との連携によって効率よく各項目の目標達成に努める。</p>
特 徴	
	<p>(1) デバイスのブレイクスルーによって情報通信に新しいパラダイムを切り開くことを目標としている。 (2) グループ員を中心に、中長期的な独自課題を設定し、人材育成にも重点を置いた基礎的探査的課題と、外部との連携を活用し、インフラ提供型、目標達成志向型の研究課題を組み合わせ、基礎先端研究の遂行を目標としている。 (3) 国際会議・シンポジウムの開催、学会委員会活動などを通して最先端の情報発信拠点を目指している。</p>
	今年度の計画
	<p>(1) 集積光デバイス技術に関する研究：新しい光機能デバイス・回路を提案し、試作実験を進め応用の可能性を検討する（光集積デバイス技術、ミリ波フォトニクス技術）。 (2) フォトニックアンテナ技術に関する研究：アンテナ構成法、特性改善に関する研究を進め、システム応用を検討する（ミリ波フォトニクス技術）。 (3) ナノ構造フォトニクス：半導体フォトニック構造を用いた機能デバイスの実現性を探求する（光集積デバイス）。 (4) 情報通信光周波数基準：光ステア信号発生回路構成法を詰め、光周波数シンセサイザの技術移転を目指す。 (5) ニオブ酸リチウム光デバイス技術：ニオブ酸リチウム導波型光デバイスの内製化を図る（光集積デバイス）。 (6) 国際会議開催など：光周波数基準技術シンポジウム、CPT2004を開催する。</p>
	今年度の成果
今年度の計画及び報告	<p>(1) 集積光デバイス技術に関する研究：共振型電極構造光変調デバイス、往復通倍型集積光変調デバイスなどの研究を進め、良い結果を出した（光集積デバイス技術、ミリ波フォトニクス技術）。 (2) フォトニックアンテナ技術に関する研究：アップリンクに適用可能な新しい光集積デバイスの研究に着手した（ミリ波フォトニクス技術）。 (3) ナノ構造フォトニクス：フォトニック結晶構造を有する半導体レーザの試作に取り組み、発振に成功した（光集積デバイス）。 (4) 情報通信光周波数基準：光周波数シンセサイザのプロトタイプを完成し技術移転した。光信号可変遅延回路を完成した。 (5) ニオブ酸リチウム光デバイス技術：ニオブ酸リチウム導波型光デバイスの内製化をほぼ達成した（光集積デバイス）。 (6) 国際会議開催など：光周波数基準技術シンポジウム、CPT2004を開催した。</p>
	<p style="text-align: center;">Fig. 4. Setup and experimental results of IM/FSK modulation and all-optical label swapping.</p>
	<p>OFC2004（2004年2月、ロサンゼルス）のポストドクトライン論文（PD-16）として発表した新しいIM/FSK変調デバイスを用いたラベルスワッピング実験校正図</p>

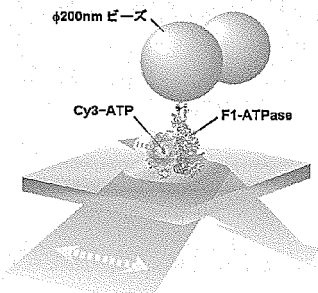
3.4.2 量子情報技術グループ

中期計画期間全体	<p>目 標</p> <p>光の量子現象を使った新しい情報伝送と情報処理技術を開拓する。特に、光子状態を制御する基礎技術の開発とそれを用いた量子符号化技術、量子計測技術の原理実証を進める。中期目標の情報通信基礎技術の研究に該当する。</p>
	<p>目標を達成するための内容と方法</p> <p>(1) 単一光子干渉系と低雑音・高感度光検出器を開発し、量子符号化利得を実証する。 (2) 光パラメトリック過程を使って相関光子状態を生成し、量子情報処理の原理を実証する。 (3) 光非線形分光法を用いて半導体量子ドット中の励起子と光の相互作用過程を解明し、光-光の量子ゲートと光-励起子間の量子転送技術を実用的固体相デバイスとして実現していくための基礎を固める。 (4) 量子情報処理の原理を実証する上で最もクリーンな系である捕獲イオンを用いて、光-イオン間の量子状態相互制御技術を開発する。</p>
	<p>特 徴</p> <p>光、電子の波動関数を直接制御する情報技術で、従来技術の延長線上にはなく、情報技術に革命をもたらす基礎研究である。情報理論、物理、フォトニクス等の境界領域にある新たな研究分野を開拓しつつある。</p>
今年度の計画及び報告	<p>今年度の計画</p> <p>(1) 通信の基本原理 量子情報源符号化（データ圧縮）の原理実証。 (2) 量子相関光子状態制御 2モード真空スクイーズド状態と2モードブライトスクイーズド状態の生成、量子もつれ支援通信及び計測への応用。強度相関光子対ビームによる量子鍵配付実験とサブショットノイズ推定法。 (3) 固体化デバイスへ向けて ① 1.55mm帯光子数識別器の開発（目標性能：量子効率80%，雑音<1 elec/sec, speed~10Kbps）。 ② 半導体励起子系における非線形Rabi振動の機構解明と位相緩和の能動的制御。 (4) 光-イオン間の量子状態相互制御 43Ca+を量子ビットとして制御するための真空系の開発、高安定光源の開発、イオン量子ビット最適測定法の開発、マックスプランク研究所と光子銃の共同研究及びCRL（現NICT）への技術移転。</p>
	<p>今年度の成果</p>
	<p>主要査読論文26編、特許申請8件と過去最高の成果発表を達成。</p> <p>(1) 量子情報通信の最も基本となる操作、量子通信路符号化と量子情報源符号化の原理実証を世界に先駆け成功し、主要国際誌に発表。同時に報道発表（日経新聞、日経産業新聞、科学新聞等）。</p> <p>(2) 2モードスクイーズド光の生成とそれを用いた符号化実験に成功。短期間で世界トップ機関に並ぶ成果を達成。また、半導体レーザーに基づく次世代装置の開発で世界に先行。</p> <p>(3) ①通信波長帯の光子数識別へ向け量子効率50%以上、識別誤差±2個程度を達成。残る2年で世界トップの性能達成を目指す。②半導体励起子系の量子状態制御の技術を開発し、励起子量子状態の位相緩和の能動的制御のデータを取得中。成功すれば世界初となる。主要国際誌へ投稿準備中。</p> <p>(4) 43Ca+量子ビット制御技術を計画どおり開発中。光共振器中の単一Caイオンによる単一光子列発生の兆候を観測。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="199 1541 782 1960"> <p>古典的には圧縮不可能な信号を量子効果を使って更に圧縮する量子情報源符号化の原理実証。 左図：符号回路図。右図：圧縮性能の実験データ。論文Physical Review Letters 91, 217902 (2003)</p> </div> <div data-bbox="821 1556 1356 1960"> </div> </div>

3.4.3 光エレクトロニクスグループ

中期計画期間全体	目 標
	<p>半導体超格子や量子ドットなどの微細構造での強い非線形性を利用する高速光スイッチ、低しきい値レーザ等の次世代光通信網に必要な高性能光デバイスの開発を行う。未利用周波数帯である遠赤外領域での高感度、高分解能、広い同調性(1-5THz)を有するヘテロダイン系を実現しその応用技術を確立する。光空間通信技術では、光波を用いるアクセス通信基盤の要素技術を確立する。また、光COEプロジェクト関連では、中核研究の一つとして、光の波面制御に関する技術を開発し、光通信・計測に応用するための研究を行う。このため、大気ゆらぎを補正するための光伝搬技術及び非線形光学技術を開発し(目標:超高分解能イメージング)、併せて、関連技術として、新しい画像処理(目標:アナログ画像記録・読出し)の研究に挑戦する。</p>
	<p>目標を達成するための内容と方法</p> <p>MBEや高精度プロセス技術を成熟させることにより半導体微細構造素子の試作及び評価を短期間に繰り返し行うことを可能とする。極低温技術などによる遠赤外素子性能評価。光波利用技術によるアクセス系通信システムの構築と通信品質評価。面発光レーザによる光空間並列処理の評価。光COEプロジェクトでは(1)人工星等の光伝搬技術、(2)フォトリフレクティブ効果等の非線形光学技術、を用いて大気ゆらぎ補正と新しい画像処理を実現する。</p>
特 徴	
	<p>半導体微細構造はアンチモンなど他ではあまり使われていない材料をベースにした新しい物性を利用して従来にはない新機能光デバイスの実現を目指す。ヘテロダイン受信系は従来性能をしのぎ、環境計測や半導体物性評価にも応用可能で、光波のコヒーレント性と広帯域性を利用する超大容量通信回線が期待できる。光COEプロジェクトでは一般の補償光学に代わって、CRL(現NICT)独自提案の人工星等の新光学技術や非線形光学を用いて、大気ゆらぎを補正した超高分解能イメージングを実現する。また、従来にはないアナログ画像処理の研究を行う。</p>
	今年度の計画
	<p>(1) 光スイッチング動作を確認し、量子ドット組み込みによる高性能化を検討する。 (2) 量子ドットを用いた光通信デバイス(低しきい値LD、高速応答PD等)の開発、試作を行う。 (3) 量子ドットの光メモリへの応用の基礎実験(偏光特性、バイアス印加特性の評価)を行う。 (4) 超高感度半導体評価装置の開発を行う。 (5) 遠赤外利用技術では、高性能ミキサの開発によるミキシング技術の確立を行う。 (6) 光空間通信では、雨粒による光散乱の更に詳細な測定及びその結果を使った光空間通信システム改善方法を提案する。 (7) オムニネットワークに関する調査を行う。 (8) 光COEサブグループ(光波面制御技術の研究)では、大気ゆらぎ補正イメージング実験を継続するとともに、非線形光学を用いた画像処理の高機能化、非回折光ビームの長距離伝搬実験を行う。</p>
	今年度の成果
	<p>(1) アンチモンを用いるGaAs基板上の量子ドットレーザの開発と波長1.3ミクロンで室温連続発振に世界で初めて成功した(報道発表5誌)。 (2) 量子ドットの積層技術により世界最高密度の量子ドット作製に成功し、波長1.55ミクロンでの発光を確認した。 (3) THz帯無反射コート膜を作製した。 (4) 世界最高感度の光検出システムの開発に成功した。 (5) 光空間通信では、晴天時における大気揺らぎに起因する受信強度変動の偏光依存性を発見した。 (6) 非線形光学効果を用いる画像蓄積読み出し技術では、画像蓄積数の向上、動画の直接再生、倍速記録を実現した。 (7) Tilt効果を補正する画像処理技術による超高分解能画像再生に成功した。 (8) 簡易光学系によるlongrange非回折光ビームの発生に成功した。</p>
今年度の計画及び報告	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>作製した量子ドットレーザの側面図と波長1.3μmでの発振スペクトル</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>世界最高密度の積層量子ドットの断面図</p> </div> </div>

3.4.4 生体物性グループ

中期計画期間全体	目 標	<p>生体の知的機能素過程を担う生体超分子を、バイオ・ナノ情報素子として利用する技術基盤を創る。生体超分子の本来の機能を保った状態で、これを単一分子レベルで直視・機能計測・操作する技術を開発、これを利用した生体超分子の機能解明を目指す。また、生体超分子及び解明されたアルゴリズムを利用したバイオナノ素子の構築を目指す。</p>
	目標を達成するための内容と方法	<p>タンパク質モータが研究対象である。その分子素過程を機能状態のまま単一分子レベルで直接高感度・高精度計測する技術の開発と高精度化 (pN, nm, ms分解能) を目指す。単一分子計測に構造解析や速度論解析を加えて機能原理を明らかにする。</p>
	特 徴	<p>独自の材料選択、単一分子計測・再構成実験系などの解析手法の開発による世界のトップレベルの成果。当該分野の研究全般に影響を与える新たな知見として評価。キャッチ収縮をはじめとして、その素過程を再構築する技術の開発に世界で初めて成功、分子機構の解明の突破口を開いた。計測手法として新規に合成した蛍光プローブの他の研究分野における高い有用性確認。世界的に試料供給を行う。基板配向吸着技術はマイクロ・ナノマシン本体、動力源としてのタンパク質モータの利用可能性を示してきた。</p>
今年度の計画及び報告	今年度の計画	<ol style="list-style-type: none"> (1) 単一分子計測技術の開発と応用に関する研究 光フィードバックを搭載した微小力測定装置を用いて生物実体測定を開始する。実体計測は、キネシンや植物ミオシンを手始めに測定を行う。偏光検出型TIRFでは植物ミオシン及び当所で開発したCy3-ATPを用いてステップ状運動とATPaseの同時計測を行う。 (2) ダイニンの運動機構に関する研究 亜種f1に関して光ピンセットによる力学測定を継続して行う。また、電子顕微鏡で明らかになった構造変化に対応した力学パラメータの変化を、単一分子計測を用いて明らかにしていく。また、クライオ電顕を用いた構造解析をLeeds大学との共同研究で推進する。 (3) 平滑筋張力維持機構に関する研究 試験管内再構成系を利用して、様々な種類の筋肉におけるキャッチ状態を探索する。これによって、キャッチの概念の再定義を行う。また、蛍光ATP等を利用して、キャッチ状態でのミオシンのヌクレオチド状態を決定する試みを継続する。 (4) 植物ミオシンの運動機構に関する研究 蛍光分子の配向を決定するTIRFシステムを用いて、植物ミオシンのステップ状変位が生じる機構に関する知見を得る。また、蛍光ATPを利用して、ATPaseと化学反応の共役を明らかにするための予備実験を開始する。 (5) 生体分子素子構築の基盤技術に関する研究 3次元的に構築する微小構造を用いて、タンパク質モータを利用したバイオ素子の構築を開始する。このための基礎データの収集を進める (姫路工業大学及びナノ機構グループとの共同研究)。
	今年度の成果	<ol style="list-style-type: none"> (1) 単一分子計測技術の開発と応用に関する研究：偏光検出型TIRFではF1と当所で開発したCy3-ATPを用いてステップ状運動とATPaseの同時計測を行い、Nature Struct. Mol. Biol.に発表。 (2) ダイニンの運動機構に関する研究：国際学会招待講演3件。クライオ電顕を用いた構造解析をLeeds大学との共同研究で推進中。 (3) 平滑筋張力維持機構に関する研究：試験管内再構成系を利用して、様々な種類の筋肉におけるキャッチ状態を探索した。キャッチ状態でのリン酸化タンパク質の同定が完了。論文をJ.C.B.に投稿中。 (4) 植物ミオシンの運動機構に関する研究：Caによる運動制御機構に関して新たな知見を得た。論文準備中。 (5) 生体分子素子構築の基盤技術に関する研究：3次元的に構築する微小構造を用いて、タンパク質モータを利用したバイオ素子の構築を開始した (姫路工業大学及びナノ機構グループとの共同研究)。
		<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>変更検出型TIRF (全反射蛍光励起システム)</p> <p>蛍光分子励起のためのエバネセント光の偏光面を、試料面 (X-Y平面) で回転させる。これは、励起光の偏光面と入射方向を同期させて回転させることで可能となる。試料面に固定したF1-ATPaseに結合した蛍光ATPは、回転するエバネセント光によって励起されるので、蛍光強度は正弦波状に変化する。この強度変化の位相から、結合した蛍光ATPの向きを5度の精度で決定することができた。</p> </div> </div>

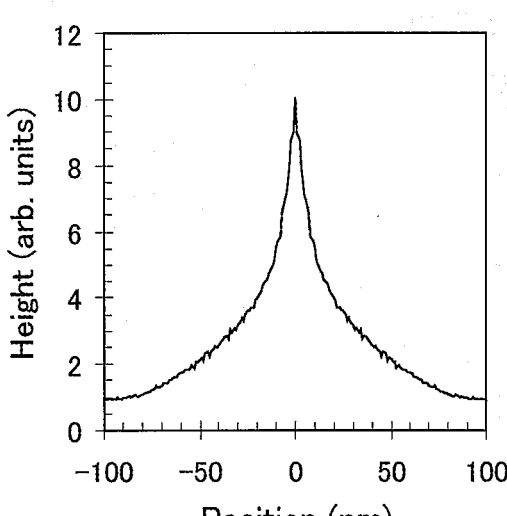
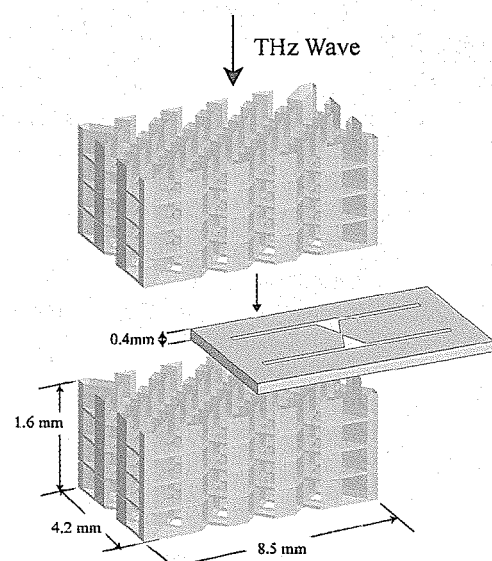
3.4.5 生物情報グループ

中期計画期間全体	目 標
	<p>遺伝情報を担う染色体と細胞核の構造を分子的基盤の上に理解し、細胞というシステムの働きとその制御アルゴリズムを解明することを目標とする。</p> <p>細胞が増殖分裂や減数分裂する際に働く情報分子の挙動を計測し、細胞分裂の仕組みの一端を理解する。中期的には、光学的計測法を改良し、より時間的・空間的精度の高い測定法や1分子の挙動を解析できる測定法を開発する。長期的には、そのような測定法を用いて、細胞分裂で働く情報分子の動態や相互作用を解析し、生物の情報伝達・処理のアルゴリズムを解析する。</p>
	<p>目標を達成するための内容と方法</p> <p>生体分子の挙動を反映し、なおかつ細胞毒性の少ない蛍光プローブを開発する。その蛍光プローブを、分裂酵母やヒト細胞などの生きた細胞の中に導入し、光学的計測法により生きた細胞内での生体分子の挙動を解析する。網羅的に一つの遺伝子機能を破壊した突然変異体を作成し、同様の解析を行い、個々の遺伝子機能を解析する。それらの情報から、染色体情報の伝達様式のアルゴリズムを解析する。</p>
特 徴	
	<p>生きた細胞内の複数の生体分子を高解像で同時に可視化する技術の開発は、世界的に求められている技術である。さらに、その技術を遺伝的に改変した種々の突然変異体に応用することにより、細胞内での情報の流れが分子レベルで理解される可能性が高い。この研究が発展すれば有用である。</p>
今年度の計画及び報告	今年度の計画
	<p>細胞外からの情報が細胞内に伝わり、細胞核構造を変化させる過程で、どのような遺伝的なアルゴリズムが働いているかを解析する。このために、突然変異によって細胞機能を改変した細胞を作製することによって、情報の流れを解析する。蛍光顕微鏡による細胞核構造の画像化のほか、DNAマイクロアレイによる遺伝子発現レベルの計測、生化学や分子生物学によるタンパク質複合体の分離精製及び同定などの種々の解析手法を組み合わせ研究を進める。</p>
	<p>今年度の成果</p> <p>(1) Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP) 法を用いてタンパク質の細胞構造内での移動速度を計測し、またFluorescence Resonance Energy Transfer (FRET) 法を用いてタンパク質分子間の相互作用を画像化し、細胞内でのタンパク質のダイナミックな相互作用を解析した。これらの結果を論文として発表した (Shimi et al., 2004, J. Struct. Biol. in press)。</p> <p>(2) 核膜と相互作用し染色体構築にかかわるHP1タンパク質の細胞周期変動を解析し、論文として報告した (Hayakawa et al., J. Cell Sci. 2003)。</p> <p>(3) 分裂酵母減数分裂期の染色体分離の仕組みについて論文を発表した (Yamamoto et al., EMBO J., 2003)。また、共同研究として、ダイニンモーターが運動ニューロン病にかかわることを明らかにし、Science誌に論文を発表した (Hafezparast, M. et al., Science, 2003)。</p> <p>(4) 分裂酵母減数分裂期の相同染色体対合の仕組みについて論文を発表した (Ding et al., Devel. Cell, 2004)。</p> <p>(5) 分裂酵母のDNAマイクロアレイを完成させ、共同研究を開始した。</p>

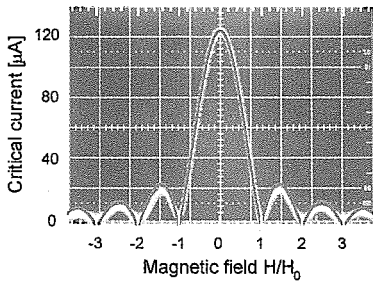
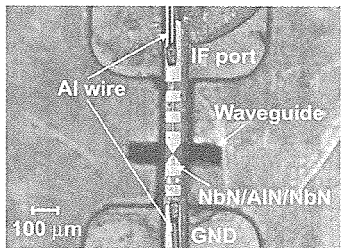
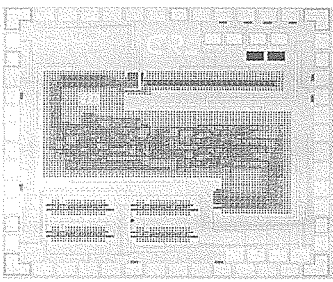
3.4.6 ナノ機構グループ

中期計画期間全体	目 標
	ヒトの脳における認知・言語・行動等の高次情報処理機構を解明し、知的コミュニケーション技術開発への寄与を目指す。
	目標を達成するための内容と方法
	ヒトの脳機能を非侵襲かつ高時空間分解能で計測可能な、fMRI/MEG/EEG/NIRSなどからなる非侵襲統合化計測システムを開発し、認知・言語・行動などヒトの知的機能の脳内メカニズムを解明する。その成果に基づく工学的モデルの構成によって、人に優しい情報通信技術の基本設計を行う。課題は、(1)ヒト脳機能の非侵襲統合化計測システムの開発、(2)非侵襲計測システムによるヒト高次脳機能の解析とモデル構成による知的コミュニケーション技術に関する基礎的研究、(3)実験動物によるヒト脳機能とそのモデルの検証である。
	特 徴
	fMRI/MEG/EEG/NIRSなど非侵襲計測装置を統合化し、工学モデルの手法と併せて、ヒトの高次脳機能の解明と知的コミュニケーション技術の開発を目指す研究は、これまで行われていない。特に、統合計測システムの開発には、当グループの独自の提案が盛り込まれている。
今年度の計画及び報告	今年度の計画
	(1) ① 3T超高磁場MRIの機種選定及び導入 ② 撮像中の傾斜磁場による脳波上のアーチファクト除去プログラムの開発 ③ fMRIとMEGの活動源比較などを含む統合解析法の改良・発展にかかわる研究 ④ 視覚イメージ実験を対象にしたfTemperature MRI法の能力評価 ⑤ 光散乱測定の可能性の最終検証実験とヘモダイナミクスによるヒト視覚野の三次元機能画像計測 ⑥ 生体信号の理論解析の完成、計算データの蓄積、光信号と生体情報の関係の基礎検討、光吸収画像化システムの高度化、光計測の応用に関する検討、非接触頭部計測システムの開発着手 (2) ① 健常者及び脳損傷患者のNREM睡眠時中の記憶関連領域の活動のfMRIによる計測 ② 身体イメージによる空間定位及び空間の左右対称性が知覚学習に及ぼす効果 ③ 視覚情報の意識化過程を構成している離散的な状態遷移について、その心理物理的計測法の効率化と評価法の改善、fMRIと光計測法の組合せによる意識化過程と相関する脳賦活領域の網羅的探査、MEGによる同領域の神経活動の動的パラメータの検討、「隠し絵」知覚における発見的能力との相関の心理物理実験及びfMRIによる検討 ④ 文字・単語処理にかかわる脳活動に関し（プライミング課題などの）モデル化に適した実験課題の探索 ⑤ 運動前野の視覚刺激応答性、眼球運動関連活動を示す領域の同定、対側優位性など基本的応答性に対応する領域、性質の調査実験 (3) 体性感覚野のneurovascular couplingに関して新たに見いだした調節機構の詳細な検討
	今年度の成果
	(1) ① 3T超高磁場MRI機種選定・設置完了。 ② fMRIと脳波の同時計測・解析システムを構築。 ③ MEGとfMRIによる脳活動源位置の差が計測誤差内であることを確認。 ④ fMRI・光トポグラフィーとの比較検討によるfTMRIの可能性提示。 ⑤ 機能変化が起こる遅い時間領域の光散乱の性質の解明。 ⑥ 光伝播解析に加え、脳波信号、脳磁図信号解析システムに関してモデル計算。 (2) ① fMRI-脳波同時計測システムによるヒト睡眠中の記憶情報処理に関する重要知見を発見。 ② 空間の左右の認識にかかわる脳領域を同定。ヒト脳の右空間優位性を証明。 ③ 心理物理的計測法の効率化、評価法の改善、脳賦活領域の網羅的探査が適切な解析法を確立。 ④ 言語プライミング課題とモデル化関連研究の調査。意味プライミングに関するMEG実験。 ⑤ 運動前野の視覚刺激応答性、眼球運動関連活動を示す領域を同定、対側優位性などを調べた。 ⑥ プリズム視による視覚学習効果の反対視野への転移。 (3) 実験モデルの作成に成功、国際誌により受理。2編を投稿した。

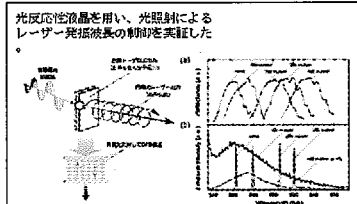
3.4.7 レーザー新機能グループ

中期計画期間全体	目 標	<p>レーザーの極限的性能を多面的に駆使し、光と物質の新機能の特性計測・解明と量子状態の応用技術を開発する。中間時を目標に、原子の光制御、光スペクトル制御技術、テラヘルツ電磁波制御、超高速光学材料物性に関する基礎特性の解明・要素技術に目途をつけ、終了時を目標に、原子光学、THz光による超高速・広帯域な光物性計測、制御、機能化に関する光応用の新技術を開発する。</p>
	目標を達成するための内容と方法	<p>高機能レーザー技術と非線型光学効果やコヒーレント相互作用現象を活用し、レーザー冷却、原子光学、光スペクトル制御、広帯域超高速分光などの手法で、光・電磁波の発生計測、物質の状態制御や超微細構造化に関する研究開発を実施する。</p>
	特 徴	<p>当該研究分野は、物質と光・電磁波の新しい利用形態を追求するものであり、光・電磁波の波長域や発生手法、また、物質の制御法や計測法で新たな取組を行う。超精密計測技術、光と原子による超微細構造化や制御など物質特性のエンジニアリング化、物性計測・イメージングなど、超高速通信、超精密計測、光デバイスなどへの応用が期待できる。</p>
今年度の計画及び報告	今年度の計画	<p>原子リソグラフィの手法による基板上への原子の堆積による微細構造化の技術開発を行う。原子の基板上への2次元捕獲に向けた実験装置の整備と予備実験を実施する。量子状態物質の発生制御実験の調査・検討を実施する。新奇材料による超高速光スイッチ実験を実施する。広帯域テラヘルツ光の発生計測装置を開発する。</p>
	今年度の成果	<p>原子捕獲のための真空システム及びLDからなる冷却用光源システムの整備を行った。原子リソグラフィではシミュレーションによる超微細化技術の検討を行った。光伝導アンテナ及び光パラメトリック増幅器による広帯域高出力光源システムを整備した。半導体微粒子媒質によるレーザー発振を達成した。フォトニック結晶を用いたテラヘルツ波高効率発生制御の検討を行い、実証実験を実施した。</p>
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>イッテルビウム原子チャンネルリングの超微細パターンのシミュレーション</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>フォトニック結晶共振器によるテラヘルツ電磁波放射の増強</p> </div> </div>

3.4.8 超伝導エレクトロニクスグループ

中期計画期間全体	目 標
	<p>情報通信分野における新たな周波数資源の開発、情報通信システムの超高速、大容量、極低消費電力化を図ることを目的として、化合物（10K動作）や酸化物（77K動作）超伝導積層薄膜作製基盤技術、超伝導体における量子効果を用いた新機能超伝導電子デバイスや回路技術に関する基礎研究を行い、技術的に未開拓電磁波領域であるサブミリ波、テラヘルツ帯での高効率発生、高感度検出技術、超高速・大容量情報通信のための超高速（クロック周波数：100GHz以上）、低消費電力（半導体の千分の一）デジタル回路技術などを実現する。</p>
	目標を達成するための内容と方法
	<p>現在の超伝導デバイス・回路の主流であるニオブ（Nb）より高周波、高速、かつ高い温度で動作するニオブ化合物（NbN、NbCNなど）、新しい超伝導MgB₂及び酸化物高温超伝導材料を用いて、超伝導ジョセフソン接合、テラヘルツ帯SISミキサ、ジョセフソン発振器、超伝導単一磁束量子（SFQ）素子とその集積回路の研究開発を行う。</p>
特 徴	
	<p>半導体デバイスより1桁ないし2桁以上の高速動作と低消費電力のデジタル回路素子とテラヘルツ帯高周波アナログデバイスの実現ができ、地球環境、宇宙電波などの微弱電・磁場計測分野に究極な高感度検出器と、情報通信分野に超高速、極低消費電力のATMスイッチ回路や次世代ソフトウェア無線用ADコンバーターを提供する。</p>
今年度の計画及び報告	今年度の計画
	<p>(1) 超伝導積層薄膜作製及びデバイス化技術の研究 ① as-grown MgB₂ 薄膜の高品質化（超伝導転移温度T_c=39Kを目指す）と物性評価、all-MgB₂ ジョセフソン接合の開発、特性評価。 ② 実用化に向けたテラヘルツ帯デバイス用化合物超伝導薄膜、接合の品質向上。 (2) テラヘルツ帯電磁波発生・検出技術の研究 ① 900GHz導波管型及びTHz帯準光学型NbN SISミキサの設計・試作、性能評価と低雑音動作の実証。 ② 集積化超伝導受信機を目指したミキサ、発振器集積技術及び周辺回路技術の開発。 (3) 超伝導単一磁束量子素子及び集積化回路技術の研究 ① all-NbN SFQセル回路の設計・試作、高速動作の実証実験（100GHz以上）。 ② 中規模（数千接合）回路の安定動作及びネットワークスイッチのバッファ周辺回路の検討。</p>
	今年度の成果
	<p>(1) 超伝導積層薄膜作製及びデバイス化技術の研究 ① MgB₂/AlN/NbNトンネル接合の臨界電流磁場依存性（図1）を評価し、理想的ジョセフソントンネル接合が形成されていることが分かった。また、all-MgB₂トンネル接合の試作を行い、上部電極薄膜の品質向上が必要である問題点を見いだした。 ② テラヘルツ帯デバイス用NbN薄膜の磁場侵入長の周波数依存性及びNbN/MgO/NbNトンネル接合の接合容量の評価を行い、実用化のための設計パラメーターを明らかにした。 (2) テラヘルツ帯電磁波発生・検出技術の研究 ① ALMAバンド10の応用を目指して、900GHz帯導波管型NbN SISミキサの設計・試作を行い、世界で初めてNbN SISミキサを導波管マウンド及び性能評価に成功した（図2）。 ② 集積型NbN超伝導受信機に用いるエピタキシャル薄膜抵抗として、酸素添加したTiN薄膜抵抗を開発し、NbN、MgOとの相互エピタキシャル成長を確認した。 (3) 超伝導単一磁束量子素子及び集積化回路技術の研究 数千接合規模SFQ回路の安定動作設計手法を確立し、5250個接合を用いたSFQ回路（2×2タンデム・バンヤン型ネットワークスイッチ）の高速動作（30GHz）に成功した（図3）。</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>図1 MgB₂接合の臨界電流-磁場依存性</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図2 900GHz帯導波管型NbN SISミキサ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>図3 2×2タンデム・バンヤン型ネットワークスイッチ</p> </div> </div>

3.4.9 ナノ機構グループ/情報通信デバイスのための高分子ナノテクノロジーの研究開発 (DP)

中期計画期間全体	目 標
	<p>通信技術の多様化・高度化のために、ナノテクノロジーや新たな概念に基づく超小型で環境に優しい通信素子の開発を目的とする。中期目標は、ナノテクノロジーによって100nmサイズの素子を作製することである。さらに、このような素子を回路に組織化するために新たなコンセプトに基づいたコンピュータアーキテクチャを開発する。</p>
	目標を達成するための内容と方法
今年度の計画及び報告	<p>本研究は、ナノテクノロジーの情報通信分野における課題である。ナノメートル領域での計測・分析法、分子の操作や素子の構成技術、構造計測・特性評価技術などの基盤技術を確立し、ナノスケールで起こる物性の解析、その協調による物性の発現などの未知の分野における科学的解明を目指す。また、効率良く大量生産できるような規則的なセルの配列での計算手法を実現する。極めて多方面の分野から研究参加が必要であり、分野横断的な研究体制の下に、産官学の連携を強化して研究を推進する。</p>
	特 徴
	<p>作製のための技術的要素として、機能性分子ユニットの開発、分子を真空中に導入する噴霧製膜法、イオントラップ型製膜法の開発、電極としてのナノギャップの作成技術、分子の自己組織化によるアセンブル技術を開発する。評価のためには、原子分解能の分子形状計測技術、4端子電子特性測定法の開発、分子発光の測定法の開発などがある。また、学問的にも発生する様々な新規の現象を理解する研究を行う必要がある。その結果、21世紀の情報通信素子としてこれまでにない、超高密度、超高速、環境に優しい、軽量でフレキシブルな情報通信素子の実現の可能性が開ける。いわば、技術革命の可能性を持つ研究課題である。</p>
	今年度の計画
	<p>本年度は、これまでに開発した超フラット回路作成技術や噴霧蒸着法によってナノ構造体を作成し、その電気特性や光学特性を計測する研究を行う。また、超短パルスレーザーを利用した2光子3次元構造作成技術や誘電体薄膜に探針で分極構造を書き込む技術ナノ構造体の作成法を高度化し、光学材料やメモリーなどの素子開発のための研究を行う。さらに、新たな可能性として、ナノプリント法や多価イオンビームを利用した作成法の研究に着手する。非同期回路アナログセルオートマトン開発では、フォールトトレラントな回路の開発を行う。</p>
	今年度の成果
	<p>(1) 超高真空下のノンコンタクトAFMによる分子観察に成功し、非導電性基板の作製装置を導入した。また、スプレージェットにより製膜した分子の単分子レベルでの観察に成功し、また、多価イオンによる打ち込みドットのSTMによる観察にも成功した。</p> <p>(2) 昇華困難な中性分子をその溶液から高真空中に導入し、基板に吸着させる手法を開発した。分子ビーム中の中性分子の電子状態や溶媒等の付着状態等を評価するシステムを構築した。また、基板に吸着させた中性分子を微視的に観測するために、超高真空低温走査型トンネル電子顕微鏡 (UHV-LT-STM) への基板移送機構を開発した。</p> <p>(3) 機能性有機分子の構造変化と配列構造、多価イオン照射プロセスによる量子ドットを超高真空STMにより構造評価し、局所光学測定装置を開発することで、分子構造体作製のための知見 (ナノ構造制御技術) が得られた。</p> <p>(4) 有機分子を単電子トンネル中間電極とした素子において、光照射による単電子トンネル現象の基礎的なスイッチング動作を確認した。また、単一有機分子を計測し得る、超微細ナノ電極を構築し、単一分子素子へのインターフェース構築への基礎を築いた。</p> <p>(5) 色素包接 dendrimer における被包接色素の分子内配置を、分子間相互作用の測定により明らかにし、dendrimer 分子内三重項エネルギー移動の有効性を証明した。また、フォトリックバンドギャップレーザー発振において、発振波長の光制御に成功した (下図)。</p> <p>(6) dendrimer、ポルフィリン、サブフラトシヤニン誘導体等の合成を行い、ナノ空間で特殊なアセンブル構造やエネルギー移動のコントロールを行った。さらに、フォトリック結晶を用いたサブミクロンの光学空間の形成について研究を開始し、有機媒体を発光ゲインとすることで光閉じ込めの効果に関する知見を得た。また、分子計算化学による手法で、分子間の相互作用などに関する解析を行った。</p> <p>(7) 単純なセルからなる配列での汎用的な計算と自己組織手法を開発した。また、誤り訂正可能なセルオートマトンを提案し、可逆計算についての研究を行った。</p>
	 <p>光反応性液晶を用い、光照射によるレーザー発振波長の制御を実現した</p> <p>溶液内光密度 $0 \sim 300 \text{ mJ/cm}^2$ の照射量範囲において、発振波長のPBGレーザー発振し、照射量に伴い発振波長が長波長側に移動し、光照射によるレーザー発振波長の制御が確認された。</p>