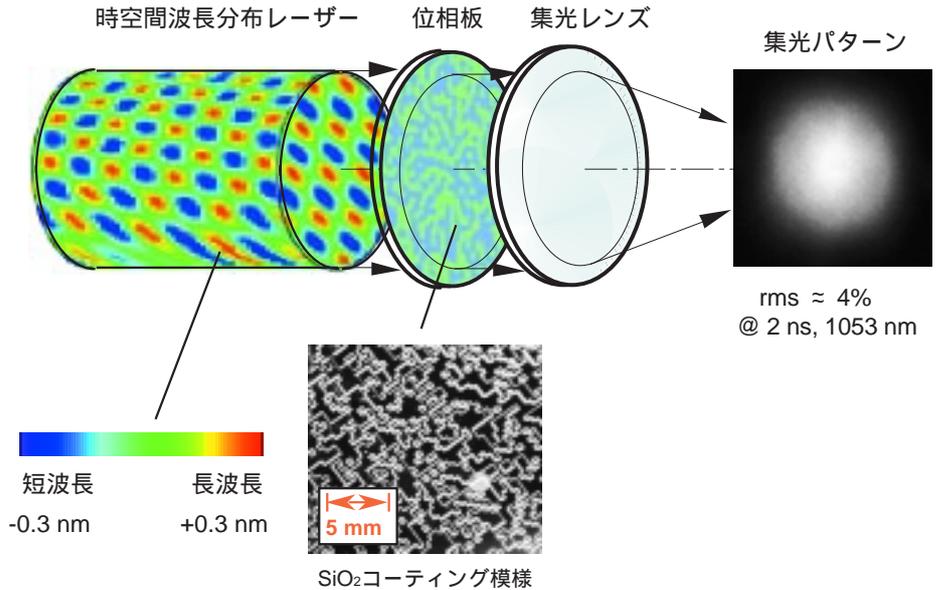


CONTENTS

- 高出力レーザーの古くて新しい位相制御
- High Power Laser Ablation 会議報告
- 『光と蔭』光と蔭のはざまに(3)
- 出版物のご案内



【図1】レーザー光の位相分布制御による集光パターンの均一化

高出力レーザーの古くて新しい位相制御

共同研究員 宮永憲明

はじめに

発振器から一旦放出されたレーザー光はどのようにでも変化しうる。これが多種多様な光応用機器が生まれるゆえんであり、レーザー光の面白さでもある。レーザー光が多様に変化するの、もちろん物質との相互作用によるものであり、最近ではそれを人工的に制御するフォトニック結晶が実用化されつつある。フォトニック結晶のような光機能デバイスの開拓を目指す光エレクトロニクスと対極をなすのが、加工や核融合等のレーザーエネルギー応用の分野である。本稿では、高出力レーザーの応用においても光波の制御は重要であることを、位相制御の例をあげて簡単な説明をしたい。

スペックル

以前、メーカーの方から「レーザーをある種のディスプレイ光源に使いたいのだが、あのギラギラしたチラツキは何とかならないのか」という相談を受けたことがある。同じように、

リソグラフィー用照明光源としてレーザーを用いる場合にも、このチラツキ(スペックル)が問題となる。

筆者は、ここ数年レーザースペックルの抑制に関する研究を行ってきた。目的は均一性99%以上のレーザー照射技術を開発することであった。ご存じのように蛍光灯や電球での照明は広い面積にわたって均一であり、スペックルはない。これに対してレーザービームを拡大して大面積を照明しようとする、今度はビーム自身の均一性が問題となる(図2(a))。そこで、レーザー光をランダム位相板(図1、半波長分の位相遅れを与えるコーティングをランダムに配置したもので、スリガラスと等価)に当てると、光は拡散してビーム自身の不均一は見えなくなる。しかし、図2(b)のようにスペックルが生じる。

電球とレーザーの違いは単色性の有無

電球とレーザーの違いは単色性(波長の純粋さ)の有無である。しかし、スペックルはレーザー光を物体に当てた(あるいは

次ページへつづく ▶



(前ページよりつづく)

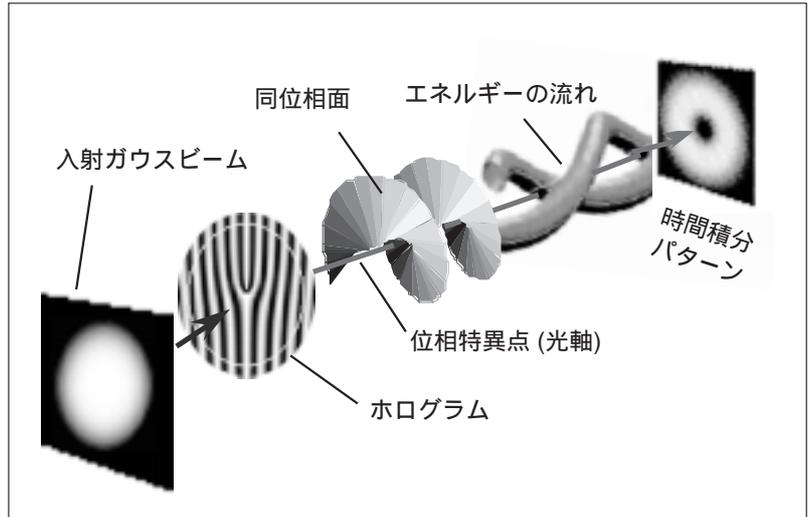
は透過させた時に生じる回折と干渉によるものであり、光の本質の一面を端的に表している。回折と干渉が不可避であるならば、これを利用できないわけがなく、二次元(面状)の例が回折格子であり、前述のフォトニック結晶では三次元の人工結晶の中でこれらを制御している。

位相変調とスペックルの抑制

スペックルに話を戻して、これを抑制する方法を述べよう。電球フィラメントの各点から出た光は互いにランダムに干渉し、瞬時パターンにはスペックルが現れるはずである。ところが人間の目は応答が遅いためにそれを見ることはできず、時間積分によって均一化されているのである。時間的に平滑化するの瞬時パターンが時々刻々変化しているからであり、変化のスピードは光の周波数幅に比例(コヒーレンス時間に反比例)する。したがって、均一な照明には広帯域でコヒーレンスが低い方が有利となり、一般的なレーザーとは異なったものになる。

広帯域インコヒーレントレーザーの典型であるASE

広帯域インコヒーレントレーザーの典型的なものがガラスレーザーのASE(自然放出光が増幅されたもの。図2(c))である。しかし、ASEは時空間にわたって強度変化の激しい光であるために、高出力動作では非線形屈折率の影響を大きく受け



【図3】ラゲール(光の渦)ビームの概念

る。そのために、自己位相変調によりさらなる広帯域化が進み、やがてはビームブレイクアップと光学素子の損傷に至る。

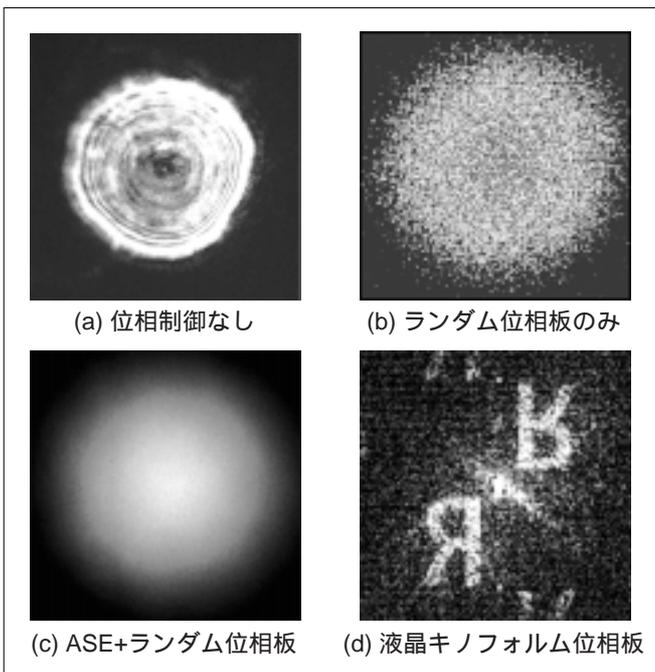
そこで、増幅段階ではコヒーレントでありながら集光したときにインコヒーレントとなれば都合がよい。それには、図1のように時空間にわたって波長(位相進みと遅れ)が分布しているレーザー、つまり局所的には瞬時スペクトルは狭帯域であるが、ビーム全体では広帯域であるレーザーが有効である。これをランダム位相板と組み合わせて用いると、ビーム断面の各点の光は集光面上で重ね合わされて瞬時スペックルをつくる。しかし、ビーム断面での波長分布は時々刻々変化するので、瞬時スペックルも変化し、適当なパルス幅で積分すると均一なパターンが得られる。

回折光学素子によるスポット形状の制御

レーザーマーカー等でも要求されるが、集光スポットの任意制御は極めて重要である。集光パターンの複素振幅(振幅と位相)分布は、レンズに入射する複素振幅分布と互いにフーリエ変換の関係にある。したがって、所望の集光スポットが決まればその形状を再現する電界分布を求めることができる。このとき、強度分布を一定とすると位相分布を求めることに対応する。所望の位相分布を与える回折光学素子(キノフォーム位相板)をランダム位相板に置き換えると、例えば図2(d)のような集光スポットが得られる。筆者等は液晶を応用して、光書き込みで随時書き換え可能な位相板を開発中である。

新ビーム

通常のレーザー光はビーム断面で位相が揃っているのに、エネルギーの流れは直線的である。これに対して、光軸を中心として位相が回転角方向に分布をもつようなビームがあり得る。



【図2】種々の条件での集光パターン

ラゲルビームは、螺旋階段のように、回転角を1周するとき位相が波長の整数倍だけ連続的に変化するビームである。このビームのエネルギーの流れは、図3のように螺旋構造をとり、光の渦ともよばれる。概念的には新しいものではないが、近年の微細加工技術や計算機ホログラムの進歩によって発生が容易となったものである。光の渦は光子の角運動量を有するので、微粒子の回転等マイクロマニピュレーションの分野で応用されつつある。また、詳細は省くがラゲルビームを応用して種々の偏光分布をもつ非回折ビーム(ベッセルビームのような)をつくり出すことができ、粒子トラップ以外にも意外な応用分

野が拓ける可能性がある。

まとめ

レーザー光を特徴づける電界振幅、位相、偏光の中で、位相を操るだけでも従来にないレーザービームをつくり出すことができる。これは、位相分布の時間微分が周波数に、空間微分が波の進行方向に関係するからである。位相制御は普遍性が高く、色々な分野のニーズに対応可能と考えられるので、何なりとご意見をいただければ幸いである。

(大阪大学レーザー核融合研究センター 教授)

NEWS

High Power Laser Ablation 会議報告

レーザービーム伝送研究チーム チームリーダー 内田成明

進展著しいレーザー推進の研究

High Power Laser Ablation会議が前回(1998年)と同じ米国のニューメキシコ州サンタフェで開催された。サンタフェは約400年前にその歴史が始まった、米国で最も歴史のある町の一つである。米国最古の教会などが点在する町はその歴史の古さを訪れる者に感じさせる。一方、最近では複雑系・カオス研究のメッカとして最先端科学の町としても脚光を浴びている。ニューメキシコ州の州都ながら、高層ビルが一つもなく、土壁で覆われた低層の建物が並ぶ町並みはアメリカ南西部の他の都市とも違った雰囲気を出している。車で5分も走ると西部劇でおなじみの荒野が広がり、実際に訪ねたサンタフェは外から見聞きする印象とはかなり異なる。

会議は米国の光技術者協会(SPIE)の主催で開催され、姉妹

会議である日本のレーザー学会主催のAHPLA(Advanced High Power Laser Applications)と合わせると今回で3回目である。会議で扱われたトピックはレーザーと固体表面の相互作用およびアブレーションメカニズム、またそれら物理現象を応用した固体表面へのコーティングやその除去に関する技術、レーザー推進、さらにこれらの応用を可能にする高出力レーザー装置に関するものである。日本の会議では扱われなかったものにレーザービームの空間伝送における制御に関するセッションがあるのもSPIEの会議らしいところである。これらのトピックに関して14カ国から約130件の論文発表があり、参加者は約100名であった。

会議は阪大レーザー研の中井貞雄教授をはじめ、レーザーアブレーションのクロキン氏(O. N. Krokhin)、高強度レーザープラズマ相互作用のキー氏(M. H. Key)、そして雷放電誘導理論のライツァー氏(Y. P. Raizer)などによるキーノートスピーカーの講演から始まった。なかでも、ライツァー氏の講演は2年前のこの会議で筆者らが報告した野外実験でのレーザー誘雷の初成功がきっかけを作ったとのことで、われわれの研究が実際の雷だけでなく、国際的な研究の活発化もトリガーしたことを誇りに感じた。

当会議の特徴は高出力レーザーにより発生したアブレーションの応用研究の成果が集まることであるが、他の会議にない最大の特徴はアブレーションを飛翔体の推進に利用する研究が議論されることである。前回の会議ではレーザーアブレーションを用いた宇宙デブリ除去の基礎研究や大型レーザー装置による

次ページへつづく▶



【写真1】サンタフェから車で10分も走ると西部劇さながらの風景が広がる

(前ページよりつづく)

除去プロジェクトの紹介、レンセラー大学と米空軍の共同で進められている平均出力30kW炭酸ガスレーザーによるライトクラフト打上げの野外実験などが注目を集めた。今回はこのライトクラフトの研究がヨーロッパにも広がり、同様の研究が開始され、野外での実験も計画されている。現在のところ、研究の焦点はいかに単純な構造で飛翔体の姿勢と軌道を安定させて打ち上げるかということである。それぞれのグループは安定化のための基礎技術を完成させるとともに現有レーザーシステムの出力を数百kWレベルにまで増強し数百gから数kg程度の質量を打ち上げる計画を進めている。米国のフォトニクスアソシエイツ社では5kg程度の観測ロケットを高度100km

の成層圏まで打ち上げるためのレーザー照射条件を詳細に検討し、研究プロジェクトを提案中である。この計画には平均出力100kW程度のレーザーが必要となる。

筆者はレーザー推進力の発生に関連して、繰り返しパルスを用いたときのレーザーエネルギーから運動量発生への変換効率の向上についての研究と科学技術庁航空宇宙技術研究所を中心に進められているLE-NET(Laser Energy Network)の構想に関して報告を行った。LE-NETはレーザーによる宇宙デブリ除去や軌道遷移システム(LOTV)等のサブシステムを段階的に実現しながら、最終的にレーザー光を媒体とした宇宙および地上へのエネルギー供給網を構築する計画である。

ニューメキシコ大学での光エレクトロニクス研究の状況

サンタフェの会議のあとアルバカーキへ移動しニューメキシコ大学(UNM)を訪ねた。アルバカーキはサンディア国立研究所や空軍基地を擁し、ダウンタウンには高層ビルが立ち並ぶ近代的な都市である。知らずに訪ねるとこの町がニューメキシコ州の州都であると思ってしまう。

UNMではわれわれと同じくレーザー誘雷の研究に取り組んでいる物理学科のディールズ(J-C. Diels)教授の研究室を訪問した。教授らはフェムト秒レーザーとその応用に関する研究を進めており、レーザー誘雷の研究もその応用研究の一環である。現在誘雷の研究の中心は炭酸ガスレーザーで生成する強電離プラズマによる放電トリガー効果の研究から放電を長距離にわたってガイドする弱電離プラズマの研究に移りつつある。筆者らのグループが短波長のレーザーを利用するアプローチを研究しているのに対して、彼らのグループはフェムト秒超短パルスレーザーを用いる方法を研究している。フェムト秒パルスが大気中で示す非線形屈折効果により生成する弱電離プラズマ路を用いて雷放電誘導を行うものである。フェムト秒による非線



【写真2】5万年前に衝突した隕石が造り出した大自然のアブレーションの痕跡、アルバカーキの西に広がる砂漠に横たわる巨大クレーター

形現象を誘雷の条件に合わせて任意の高度に発現させるため、あらかじめ大気分散を補償するように逆分散を与えてパルスを大気中に伝搬させるなど、フェムト秒パルス研究の第一人者ならではのアイデアで研究を進めている。

UNMでは高度技術材料センター(Center for High Technology Materials: CHTM)が1983年に設立され、電気と光における材料、加工、装置に関する研究と教育を行っている。組織の目的は大学と国立研究所および企業の連携を促進するとともにニューメキシコ州の経済発展にも寄与することとなっている。これはわがレーザー総研の目的とも通じるものがあり、その活動は多いに参考になる。CHTMの研究陣はディールズ等UNMの教官の兼任で構成され、彼らの指導のもと大学院生もスタッフに加わって研究を進めている。これまでに米国の半導体製造技術を飛躍的に向上させた戦略的国家研究プログラム、セマテックでCOEに選定され半導体製造工程でのオンライン分析手法開発等の成果を上げている。その他にも面発光レーザー、高出力半導体レーザー、ナノスケール製造技術などを『製品』として生み出すとともに、スピノフした会社も輩出するなど実用化技術に近いところで研究を行っていることが分かる。

CHTMで前述のライツァー氏とともにレーザー誘雷に関するセミナーを開き、筆者は日本の冬季雷とニューメキシコ周辺で起こる夏季雷の比較をしながらレーザー誘雷の野外実験の方法と成果について講演を行った。講演のあと、レーザー誘雷はレーザーとプラズマおよび放電に関する知識だけでなく、雷の生成機構の理解やその観測技術に関する知識も重要であるとの感想を持ってくれたことで筆者の意図は十分伝わったものと満足した。

CHTMでは大学院生がスタッフとして研究を行っているが、大半は留学生(アジア系)との印象を受けた。ディールズにその

ことについて話題を向けると、米国の一般的な傾向として大学院生だけでなく、大学の教官にもアジア系の進出が目立ってきているとのことであった。ディールズはそのことに危惧の念を抱いているようだが、米国はもともとヨーロッパを中心に世界

中の頭脳を集めて繁栄して来たのではなかったか。それが今、情報産業に見られるようにインド等アジアからの技術者の流入も顕著になってきている。このように開かれた研究・教育環境が生み出す多様性が今日の米国の強さの源であろう。

山中千代衛



光と蔭のはざまに(3)

姫路工業大学での1990年からの6年間は大学活性化へのご奉公の一語につきる。

幸いなことに兵庫県の貝原俊民知事の信任を受け「明るく、楽しく、未来のために」

をモットーに学長職を務めた。工大附属高校の新設、高度産業科学技術研究所の設置と小型SRニュースバルの建設は長く記憶に留まる出来事であった。大学賢人会議、洋上大学、工大創立50周年記念行事、書写記念会館の新築、自然環境科学研究所の設置、姫路短期大学の合併吸収による環境人間学部設置計画など一連の仕事は大変楽しい思い出に包まれている。学長退任の年の始め、阪神大震災の朝を姫路で迎えたことも忘れられぬ一齣である。

財団法人レーザー技術総合研究所は大学において研究開発されたレーザー技術を産業界へ移転する組織として1987年科技厅、文部省、通産省三省共管の財団法人として設立された。今はやりのベンチャービジネスラボの役割を早くから担ってきた。当初レーザーによるウラン濃縮を推進し、このため必要な銅蒸気レーザーの固体素子駆動大出力化や同位体分離に関する基礎データの研究に専念し、所期の目的を達成した。さらに自由電子レーザーの要素開発をすすめ、通産省の基盤技術研究促進事業による(株)自由電子レーザー研究所の設立に寄与した。この施設は現在、大阪大学に所属している。YAGレーザーの大出力化、波長可変OPO方式、UVUレーザーによる光化学反応や群分離の基礎を研究し、レーザーバイオ分野ではタンパク質中のエネルギー移動の研究も実施している。また世界ではじめてレーザーによる誘雷実験に成功し、国際的に大きな反響を呼んだ。

1997年には財団創立10周年の記念行事が盛大に挙行政され、研究所本来の目的である産官学の橋渡し役を担った活動を強化している。

人生77年を振り返るとまさに光と蔭のはざまに生きてきた感が深い。すばらしい恩師に恵まれ、厳しい同僚との切磋琢磨を経て、熾烈な国際競争にさらされた日々、優秀な研究員や充実した学生諸君の努力により今日の評価が産まれたのである。

研究所が世界に冠たる成果を上げるには所員の間には十分な相互理解と情報伝達がまず必要であり、その上パイオニア研究をやり抜く熱情が決め手となる。自由な雰囲気は何よりも尊重されるべきであるが、なおかつ研究推進に当たって、強力なリーダーシップが不可欠であると思う。ILE時代1986年に筆者はロシアのE.P.Velikovとともに米国核融合協会のリーダーシップ賞を受賞した。

ところで今日現在、米国のNIF、仏のMJ Laserがともに建設中、全世界において研究に使用できる大出力レーザーは阪大レーザー研の激光 号において外に見あたらないのが現状である。諸外国から利用研究の申し込みが殺到している。今こそ阪大ILEの格段の努力が求められる。まさにローマは一日にしてならずである。大型研究プロジェクトでは、核融合と宇宙開発が対比されるが、制御核融合は前人未踏の目標である。これほど困難で、しかも実現の暁には人類に甚大な効果を及ぼす研究は外にない。

初心に戻って考えると山中研究室の目標は一步一步着実に進む日常の努力により達成されてきたのだ。喜寿の筆者にとっては、もはや日暮れて道遠しの感であるが春秋に富む若い諸君には乾坤一擲の壮拳を祈るや切なるものがある。人生は一度しかない。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

出版物のご案内



ビジュアル レーザーの科学

21世紀の科学を切り拓くレーザー技術についてやさしく説明
産・学・官で活躍する、第一線のレーザー技術研究者による執筆
書籍では、図表を多く使って、分かりやすく解説
CD-ROMを使って、装置や応用例をビジュアルに表現

おもな内容

- 第1部 基礎編(書籍)
1. 光学の基礎
 2. レーザーの基礎
 3. 非線形光学の基礎
 4. 光学素子の基礎
- 第2部 装置・応用編(CD-ROM)
1. レーザー波長
 2. パルス幅とレーザー出力
 3. 励起方式
 4. レーザー媒質
 5. 新しい原理に基づくレーザー
 6. 各種レーザー装置
 7. エネルギー開発・電力
 8. レーザープロセッシング
 9. レーザー計測
 10. 光通信・情報処理
 11. レーザーバイオ・医学
 12. レーザー化学



好評
発売中



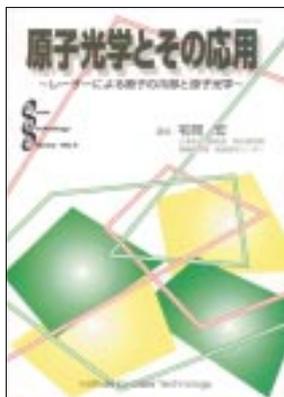
定価3,500円(税別)
*送料は当研究所が
負担いたします。

原子光学とその応用

~ レーザーによる原子の冷却と原子光学 ~

著者 宅間 宏 / 定価1,500円(税込)

中性原子の熱運動をレーザー光によって止め、極低温気体を作る研究は、1980年代後半に盛んになりました。最近ますます長足な技術的進歩が見られ、ついにボーズ・アインシュタイン凝縮気体を実現するに至りました。また物質波による干渉計、物質波の反射鏡や結像レンズなど、光学と同様な操作を物質波に対して行う原子光学が発展しつつあります。本書では、このような新技術の現状とその応用の可能性について述べています。



おもな内容(もくじより)

レーザーによる原子の冷却 磁気光学トラップ 原子波の干渉観測 原子波の結像 局所偏光冷却 ボーズ・アインシュタイン凝縮

- 『生物フォトンの計測とその応用』 著者 稲場文男
『光散乱計測』 著者 朝倉利光
『新しい光源が拓く最先端技術』 著者 山中千代衛編

その他多数ありますので、是非ご活用下さい。
下記まで、FAXまたはE-mail(ilt@ks.kiis.or.jp)でお申し込み下さい。

レーザー応用センシング

~ 干渉計測と産業応用を中心に ~

著者 山口一郎 / 定価2,000円(税込)

レーザー光の持つ優れた単色性と指向性によって、高感度ながら非接触で高速計測できるようになりました。しかも従来、これらは外乱への脆弱性のために、生産現場などでの運用は容易ではありませんでしたが、最近では産業界から高精度センシングへの要求が高まり、さらに半導体レーザーや固体レーザー、光学素子、光ファイバー、各種アクチュエーター、半導体検出器、コンピューターなどが小型化によって性能が一段と向上しています。これらを背景にして干渉計測などの適用範囲を拡げる試みが盛んになされています。本書では各測定法の基本原理と特長、そして応用例、問題点について、さらにレーザー応用計測の今後の展望についても述べています。



おもな内容(もくじより)

レーザーの直進性の利用 干渉の基本原理解 干渉による変位の測定 干渉による表面形状測定 光ファイバー干渉計 光ファイバーセンサー 粗面干渉計測 能動型干渉計による外乱の抑制 回折・散乱の応用

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表
藤田雅之(TEL&FAX:(06)6879-8732,E-mail:m Fujita@ile.osaka-u.ac.jp)までお願いいたします。

