

ハイテク光計測システムの簡単な原理、装置のしくみとは？

- ラマン ⇒ ラマン散乱分光分析
- L I F ⇒ レーザー誘起蛍光分析
- ホトルミ ⇒ フォトルミネッセンス測定
- L I B S ⇒ レーザー誘起ブレイクダウン
- 分光分析 (発光分析)
- P & P ⇒ レーザ励起過渡吸収分光分析

原理に関しては、簡単に説明します。詳細は別のHPでお調べください。
装置に関してはできるだけ具体的に説明いたします。

装置に関して詳しくない方でも、自分で各パーツを選定して、必要なパーツを購入してシステムアップできれば、測定装置の可能性が広がります。目的がひとつの分析装置をボックス装置と呼んでいます。X線回折装置などはボックス装置です。操作が簡単で、必要な情報が限られた形で得られます。ラマンとフォトルミを測定する場合、高額な装置を2台購入するのが一般的です。もしも、1台の装置で2つの目的を達せられれば、安価に装置を2台購入することになります。また、個々のパーツだけを使用して別の用途に使用できれば、測定装置の可能性がより一層色がります。工場などの場合は、ボックスシステムが適していると思います。データを取得するという目的だけでなく、省スペース、簡便性、クリーンルーム対応、高い安全性などが求められるからです。このHPでは、簡単に光計測装置をシステムアップする方法を説明していきます。

最初に、論文などから情報を集めます。

- ・ レーザはパルスかCWか？
- ・ レーザの波長はいくつ？
- ・ レーザーのパワーはいくつ？
- ・ 使用している分光器は何か？
- ・ 波長分解能はどの程度必要か？
- ・ 検出器は何か？
- ・ 信号の電子処理方式は何か？
冷却CCD、ロックイン方式、ボックスカー方式、
信号増幅+AD変換、デジタルオシロスコープ
- ・ どの程度積算されているか？
- ・ 測定されたデータのS/Nはどの程度か？

実際に計測している方に聞くことが一番の情報になります。

初めて、フェムト秒のP&P装置を製作した時は、東大の某研究室にビール券を持って何度も話を聞きに行きました。

L I F装置を初めて製作した時は、文献調査のため国会図書館に1週間くらい通いました。

冷却CCDカメラを世界で一番販売したと思います。セールスサイエンティストとして顧客にデータの取得に関するコンサルタントをおこない、結果として冷却CCDカメラを販売しました。

まず、知りたいのは情報です。

- ・ どの波長に光るのか？
- ・ どの程度光るのか？
- ・ 波長分解能はどのくらい必要なのか？
- ・ 予算はいくらなのか？

それを教えていただければ、最良の冷却CCD検出器をコンサルできました。

システムの製作も同様と考えます。

情報がないとパーツを選択することができません。

装置を構成するパーツの性能の説明をします。

どのパーツにも言えますが、

- ・ 取扱方法の簡便性
- ・ アフターサービス
- ・ 値段

は重要なファクターです。

サンプルからの光信号は、目で十分見える。というような場合、性能のよい分光器もいらないし、性能のよい冷却CCDカメラも必要ありません。

2万円程度のWEBから購入できるようなCCDカメラでも十分測定が可能です。分光器も安価な中国製のどこかのコピーでもかまいません。

コピーはコピーで測定によっては十分な性能を発揮しますし、そこにマーケットがあるから存在します。しかし、このHPに載せているような用途には不向きです。

部品とパラメータ

レーザー

- ・ CW (連続発振) or パルス
- ・ 波長 (紫外～赤外) (nm)
- ・ パワーを決める (mW)
- ・ シングルモード or マルチモード
- ・ 偏光の向き
- ・ レーザの振動
- ・ 簡便性
- ・ メンテナンス



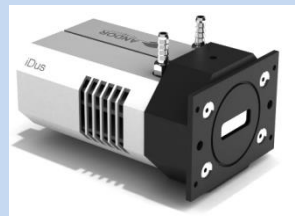
分光器

- ・波長分解能 (nm)
 - 焦点距離の長さ (cm、またはm)
 - グレーティングの刻線数 (線数/mm)
 - 逆線分散 (nm/mm)
- ・測定波長域
 - グレーティングのブレイズ波長
- ・出口のイメージクオリティ (CCDの場合)
- ・同時測定波長域 (nm)
 - 逆線分散 x CCD素子の長さ
- ・迷光除去比



冷却CCDカメラ

- ・冷却温度 (°C)
- ・冷却温度の安定性 (%)
- ・波長感度特性 (波長-QEカーブ)
- ・CCDチップの大きさ (mm)
- ・CCD1素子の大きさ (μm)
- ・ダイナミックレンジ (wellの大きさ/リードアウトノイズ)
- ・ADC (bits)
- ・分光用ソフト



光学部品

用途、大きさ (明るさ)、使用波長など

- ・光ファイバー : 長さ、使用波長、バンドル数
- ・レンズ : 波長、焦点距離、口径、収差
- ・ミラー : 波長、反射率、口径
- ・フィルター : 波長、目的

- ・偏光用部品 : 波長、目的
- ・ホルダー : 大きさ、精度、
- ・定盤 : 大きさ、振動除去

定盤上に装置を組み立てるのであれば、ハードウェアの性能の把握は、これで十分でしょう。光学部品の選定には若干、知識が必要ですが、そんなに難しい知識ではありません。この本が役に立ちました。

オプトロニクス技術活用のための光技術関連のベストセラーBOOK
光学部品の使い方と留意点 増補改訂版



- ◆大分類名:【品切】
- ◆小分類名:品切中
- ◆メーカー:オプトロニクス社
- ◆著者:末田 哲夫
- ◆体裁:A5判 約330頁

システムブロック図

レーザーの位置、分光器の位置、冷却CCDカメラの位置、パソコンの位置、配線を引きます。

配線には、インタフェースの名前を入れます。RS232CとかUSBなどを書きこみます。パソコンに必要なインタフェースのポート数がわかります。光学系のブロック図を書くと、必要なミラーの数、レンズの数、フィルター、そのホルダーの数がわかります。レンズ系に関しては、設計によって枚数やレンズの大きさなどが変わるので、だいたい書きこんでおいってから後で修正します。

各部品の選定をします。レーザーはDPSSLレーザーを選びました。

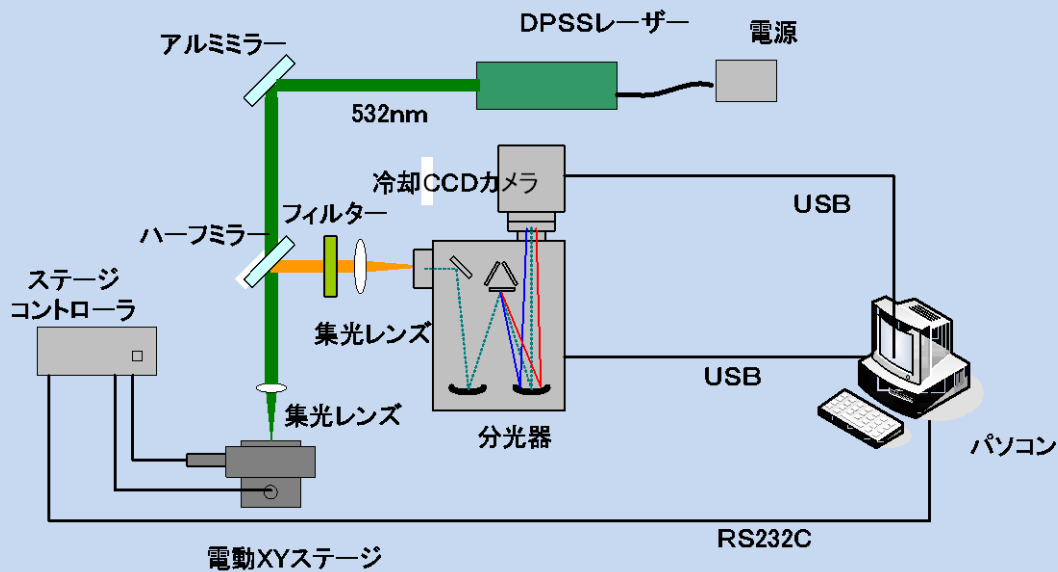
レーザー

- ・CW (連続発振)
- ・波長 532 (nm)
- ・パワー 20 (mW)
- ・マルチモード
- ・縦偏光
- ・レーザーの振動はない
- ・簡単に使用可能でメンテナンスはない。スイッチを入れるとレーザー光が出ます。

分光器

- ・波長分解能 0.14 (nm)
- 焦点距離の長さ 30 cm
- グレーティングの刻線数 : 1200 (g/mm)
- 逆線分散 2.38 (nm/mm)

このHPに載せているシステムのソフトは、すでに完成しています。



- ・測定波長域
 - グレーティングのブレイズ波長 500 nm
- ・出口のイメージクオリティ (CCDの場合)
イメージング分光器のため問題なし
焦点面サイズ : 27mm x 14mm
- ・同時測定波長域 (nm)
 - 逆線分散 x CCD素子の長さ
 - CCD素子 26 μm
 - 素子数 1024 個
 - $2.38 \times 0.026 \times 1024 = 63 \text{ nm}$
- ・迷光除去比 $10^{-4} : 1$

一般的なラマンやフォトルミ測定の場合は、特注のソフトは必要なく、冷却CCDに付属している分光用ソフトで十分です。

すでに完成しているソフトですが、日本ローパー社の冷却CCDカメラでなくては動作しないので、他社製のパーツを使う場合は、自作するか、業者に依頼する必要があります。

計測用のソフトウェアの製作者は少ないですし、場違いの会社に依頼すると時間と費用を無駄にするだけです。

システム全体の10%程度がソフトにかけられる費用ではないでしょうか？

たとえば、どこかのソフト業者に依頼して、ソフトが300万円とか言われたら、ローパーのカメラとソフトを購入したほうがお得です。余剰の250万円です。

ソフト会社にソフト製作を依頼する場ですが、何をしたいのかということを確認に伝えないと失敗します。

必要な情報とアクションは、

- ・システムブロック図
- ・各インターフェースの情報
- ・各ドライバの情報
- ・フローチャート
- ・表示メニュー (入力と出力)
- ・アウトプット (結果は何か?)
- ・打ち合わせ
- ・テスト

などなどです。

ローパーの宣伝をするためのHPではないのですが、何年もかけてシステムを構築してきたわけですから、簡単にソフトが製作できるとは言えません。

最近ではL a b v i e wというソフトでシステムを組まれる方も増えています。

できれば、自分でソフトは組みたいものです。そうすれば汎用性は益々高まることになります。

機械加工に関してですが、すべてのパーツが、市販のホルダーだけで組みあげることにはなかなか難しいと思います。

物理的な制約がある場合もあります。(となりのパーツにぶつかる)

そのために、機械加工業者と仲良くお付き合いをする必要があります。パーツとパーツの機械的なインタフェースが機械加工です。

図面を書くのが苦手な方でも、マンガを書いて、打ち合わせをして必要なものを製作することによりシステムアップがより簡単になります。

小回りのきく機械加工業者は少ないのが現状です。機械設計と機械加工、光学系のことに少し知見のある業者を探す必要があります。

専門の業者には、それぞれ特有のこだわりがあります。システム屋は、ちょっとした穴のずれよりも、最後のデータが取れることを重視します。機械屋は、精度がもっとも重要です。穴の位置がずれるのはレベルが低いと考えます。

ソフト屋は、システム屋に似ています。全部がわからないとソフトがつかれないはずですから物理の知識がある人でないとスムーズにソフトの開発はできません。

1. マクロ光学系について

顕微に対する光学系という意味でマクロ光学系と呼びました。

単レンズでレーザーを集光するのは問題ないですが、信号光を単レンズで分光器に集光するのは問題かもしれません。

単レンズを購入する場合、口径と焦点距離でレンズを選びます。よく、カタログを見ると波長 n m のときの焦点距離を記載しています。

たとえば、546.1 nm での焦点距離です。

波長によってレンズの材質の屈折率が変わるので波長が変わると焦点距離が変わります。

(色収差)

材質-BK7

口径 30mm ϕ 、 $f. l$ 100 mm の場合、

@441.6 nm $f. l$ 99.4 mm

@514.5 nm $f. l$ 100.5 mm

@632.8 nm $f. l$ 101.5 mm

@830 nm $f. l$ 102.5 mm

材質-合成石英

口径 30mm ϕ 、 $f. l$ 100 mm の場合

@193.3 nm $f. l$ 82.7 mm

@248.4 nm $f. l$ 91.1 mm

@514.5 nm $f. l$ 100.6 mm

@830 nm $f. l$ 102.5 mm

紫外側で屈折率は大きくかわります。

この問題を解決するために、アクロマティックレンズを使用します。このレンズは、違う材質のレンズを2枚ないし、3枚張り合わせてつくったレンズです。屈折率の変化を打ち消しあうように組み合わせています。

2種類 of 材料を使用すると2波長で補正されます。

3種類ですと3波長で補正されます。

残念ながら、一般的にアクロマートレンズは可視用です。

紫外～近赤外までの色消レンズはない。

代わりにミラーを使用します。

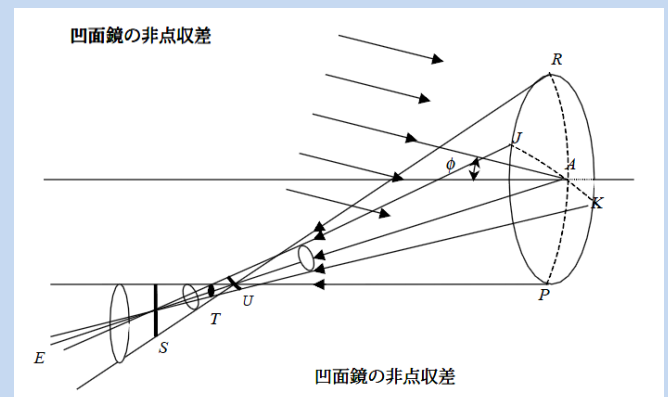
凹面鏡は、手に入りやすいのでよく使われます。



ミラーには色収差はありません。

しかし、凹面鏡を反射ミラーのように使用すると、非点収差が出ます。

縦焦点面と横焦点面の距離の違いにより起こります。

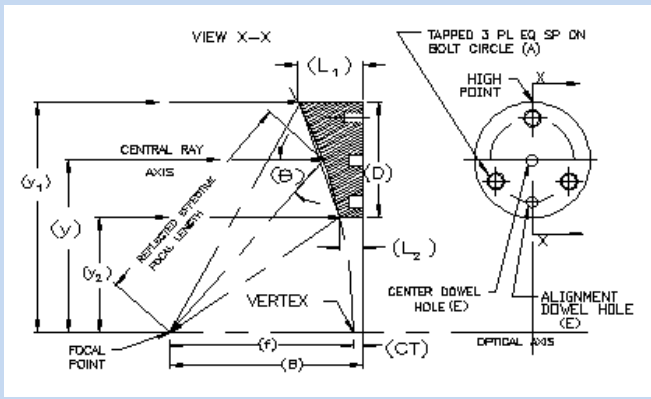


非点収差があると、信号のエネルギーをロスします。分光器のスリットへの集光効率する悪くなります。

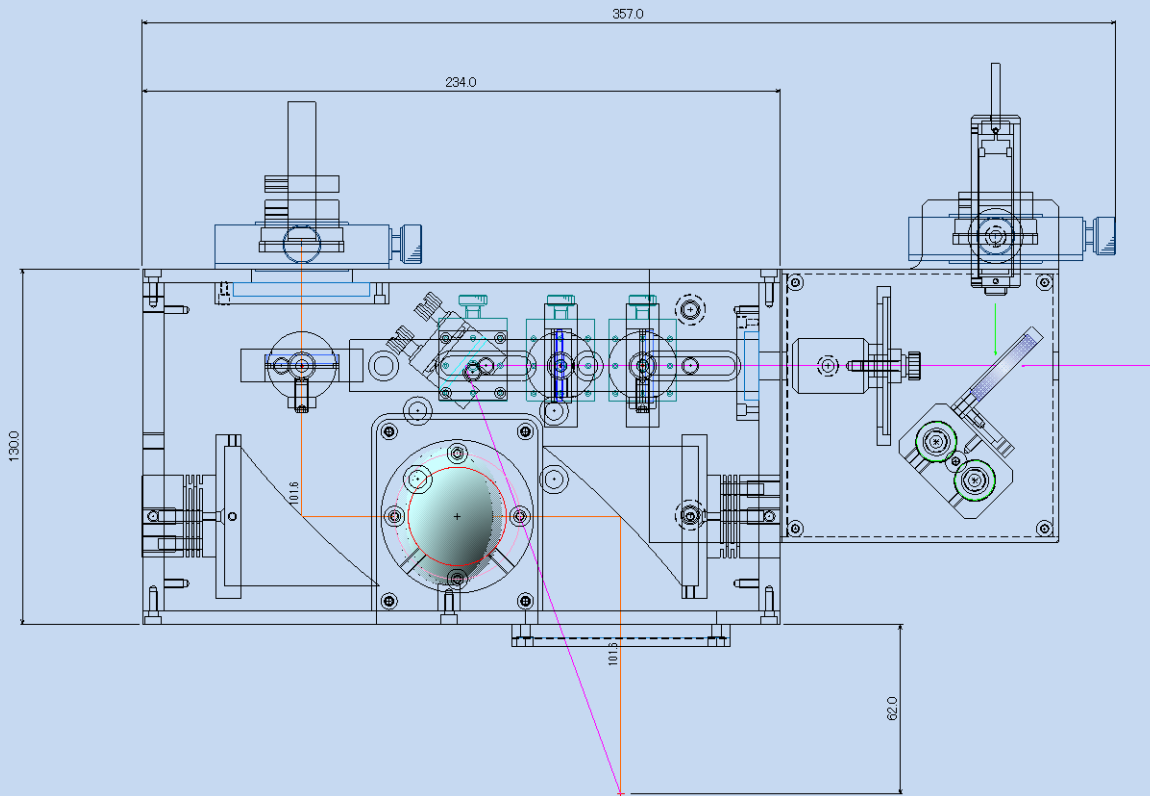
軸外し放物面鏡

軸外し放物面鏡は、非点収差を取り除くために非球面鏡になっています。





率よく光ファイバまたは、直接、分光器スリットに導かれます。トロイダル鏡を使用しているため色収差がないので、スペクトルの色収差による強度ぼけがありません。また、非点収差もないので、サンプルから発生した光の集光性は非常に高くなります。波長は、200nmから近赤外まで対応します。サンプル上でレーザー光軸と測定光軸は集光されます。この位置合わせをモニターカメラによっておこなうために、簡単に効率よく光軸調整ができます。



仕様

・ 測定波長域

: 200nmから近

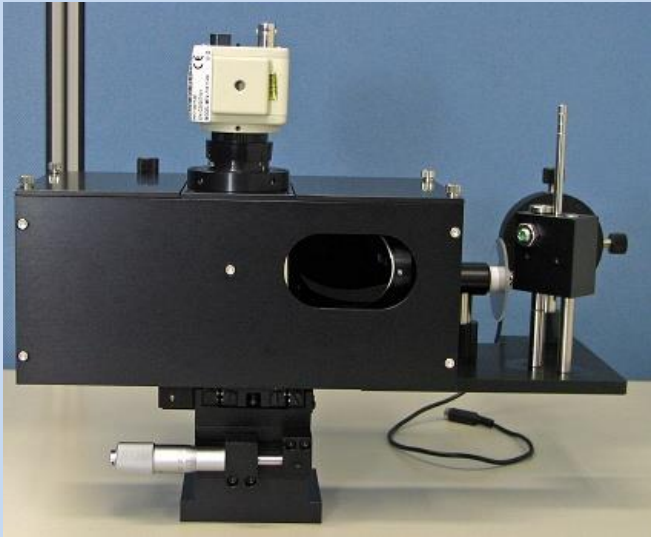
赤外

- ・ レーザ集光スポット径 : 50μm以下
- ・ フィルター : 1インチ径
- ・ XYZ微調整機能付
- ・ カラー、輝度自動調整CCDカメラ付
- ・ 石英製可変NDフィルター付

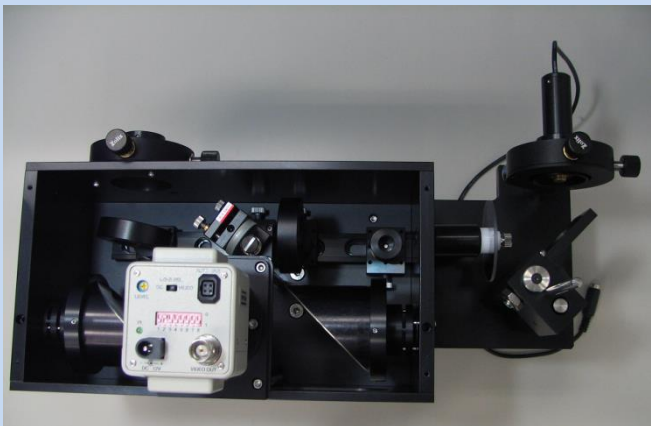
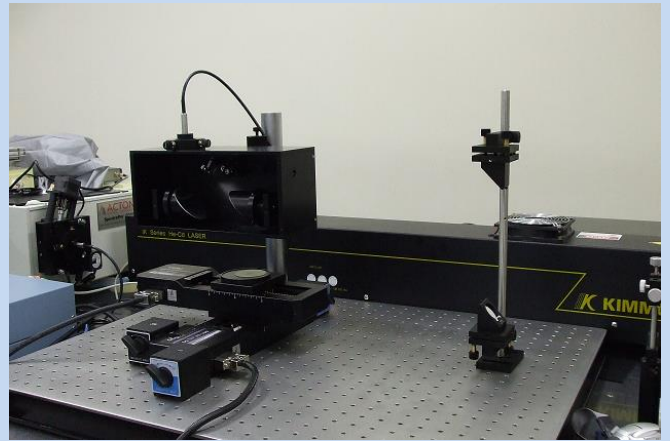
この非球面鏡を使用すると、色収差と非点収差を無視できる光学系になります。また、アルミコーティングのものは紫外域から近赤外域まで使用できます。

フォトルミネッセンスの発光は波長に対してブロードなことが多く、非点収差がない光学系が必要です。

マクロ光学系の一例を説明します。紫外から近赤外でのルミネッセンス、ラマン散乱、蛍光などのレーザー分光測定を簡単におこなうことを目的に開発された光学系です。トロイダル鏡によってサンプルから発生した光は効



開発段階

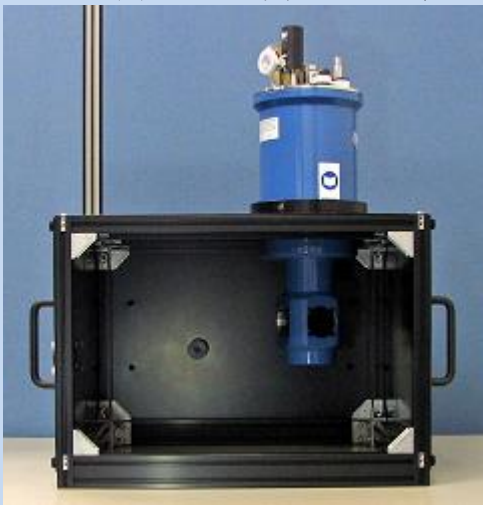


全自動ホトルミネッセンス計測装置

本装置は、高速でユーザフレンドリーに操作がおこなえる全自動ホトルミ計測装置です。

サンプルウェハを装填し、コンピュータの測定ボタンを押すと、簡単にウェハマッピングがおこなえます。

現在、販売はしておりません。
 光計測システムとして、ご参考までの掲載をしています。
 この光学系は非常に明るい光学系です。
 しかもコンパクトです。
 この光学系とクライオスタットを組み合わせて使用しました。
 クライオ、光学系は暗箱の中に設置します。



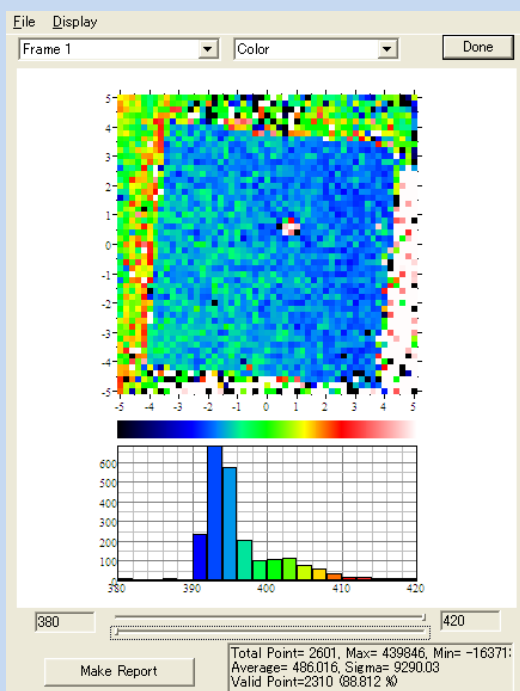
- ・ コンパクトな半導体レーザを採用し、ランニングコストを大幅に低減しています。
- ・ 測定波長域は、レーザ、検出器を選定することによって、200nm~1700nmに対応します。PL光デリバリング光学系はすべてミラーを採用しているので光学収差がありません。

また、この光学系を発展させて、自動マッピング装置を製作しました。

- ・ 装置全体の大きさは、800W x 700D x 1100H と非常にコンパクトで、パソコンがあれば計測が可能です。
- ・ 測定精度は、高速マッピング時、波長精度が 1 nm 以下、マッピング繰り返し位置精度は、50 μm 以下です。また、精度マッピング時、波長精度を 10 倍、マッピング位置精度も 10 倍向上し、測定モードを切り替えて使用ができます。
- ・ メンテナンス性を向上させるために、レーザを 2 台搭載することができます、1 台のレーザが故障または寿命により停止した場合でも、2 台目のレーザに簡単に切り替え、メンテナンス時の時間ロスをなくすことができました。



サンプルの装着が簡単に行えます。



「光学」という本を読むと難しいことがいっぱい書

標準仕様	
測定時間	2min/wafer
レーザ	405nm-300mW
分光器	30cm焦点距離 グレーティング3枚内臓
検出器	背面照射型CCDカメラ
測定対象	強度、波長、半値幅
データ	ASCIIデータまたはバイナリ イメージ出力

いています。

「これ全部わからないと光学設計ができない？」
ということはまったくありません。

目的は、必要なデータを取ることです。

「今まで誰にも取られたことのない、物理的なデータを光計測で取る」

これは光設計のプロでも無理です。

プロは、できるかどうかわからないことはやらない。
お金を頂いて装置を納めるのが仕事です。

チャンピオンシステムは、プロは設計していません。
プロはお手伝いをしているだけです。

まず、今測ろうとしているサンプルは、どのくらい光るのでしょ。目で見えるくらい強いなら、光ファイバの先をサンプルの近くに持っていけば取れます。弱いのであればレンズで光を集めます。

どうやってそのレンズの種類、焦点距離、大きさ、配置位置を決めるかが光学系の設計になります。

一番手頃でよいレンズは、カメラレンズです。

収差がないので可視光の光学系に使用すると何も考えずに、かなりよい光学系になります。価格も安価です。

もしも、同じ性能のレンズを1個設計、製作するとしたら、たぶん数百万円～数千万円かかると思います。

カメラレンズにも焦点距離や口径を選択することができますから設計する上で、まったく自由がないということではありません。

実際、F1.0以下という明るいレンズもあります。

ラマンの光学系に関して

ラマン散乱光は一般的に非常に弱いといわれています。

(サルファーなどは別です。)

ユーザは、光学系をできるだけ明るくしたいと考え

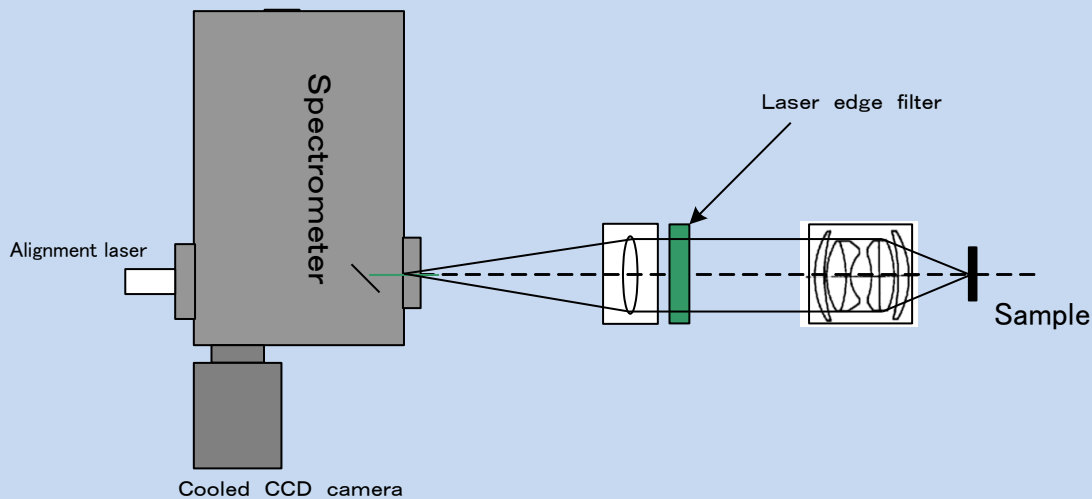
ます。
 しかし、光学系を無限に明るくするのは難しいということに気がつきます。
 ラマン装置の分光器は大型の物が使われる場合があります。分光器の明るさで全体の明るさは決まってしまうのでそれほど明るくできません。
 焦点距離30cmの分光器はF：4くらいです。
 入射角度は12.4°くらいです。
 これ以上大きな角度で、入射させても分光器の出口から光は出てきません。

そこで出てくる問題に対して、わからないことがあったら本を詳しく読めばよいのです。

カメラレンズと単レンズは何が違うのでしょうか？
 同じ口径で、同じ焦点距離の単レンズとカメラレンズを比較してみてください。

透過波長は？
 収差は？
 焦点位置は？
顕微分光光学系

30mm口径、120mm焦点距離のレンズ、50mm口径、200mmと同じ明るさです。
 2枚のレンズでラマン光の取り込み光学系を考えます。f50mmのカメラレンズ（サンプル側）とf200mmのBK7レンズ（分光器側）でリレーレンズを組みます。入射のF値は、分光器側のレンズで決まります。50mmφ、焦点距離200mmにします。これで分光器とFマッチングができました。
 分光器の入り口スリットのサンプル像は4倍になります。f200mm/f50mm=4倍になります。



測定時にスリット幅を100μmにするとレーザー光の集光スポット径は25μm以下に集光することになります。分光器のスリット幅を変えると波長分解能が変わり、迷光も増えるので、必要な波長分解能、測定波数から全体のシステムを組み立てることになります。

$$(\text{スポット径}) = 4 * (\text{波長}) * (\text{焦点距離}) / (\pi * \text{レンズ入射前のレーザー径})$$

微弱ラマンの場合は、よい検出器で時間をかけて弱い光を積算して測定することになります。

一生懸命、本を完読して光学系を組むことよりもある程度の知識を得てから、光学系を組んでみる方が、案外うまくいきます。

ます。

リレーレンズみたいなものです。

倍率は、イメージングレンズの焦点距離／対物レンズの焦点距離です。

イメージングレンズの焦点距離は、200mmが通常のようなようです。

100倍の対物レンズを使用した場合、対物レンズの焦点距離は2mmになります。

顕微鏡の位置分解能は焦点距離ではなく、対物レンズの開口数（N.A）と波長で決まります。

分解能 = $1.22 \times \lambda / N.A$

波長が短く、N.Aが大きいと分解能は良くなります。

対物レンズを選定するときに、N.Aの大きなものを選択すると位置分解能がよくなります。

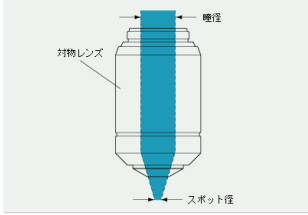
対物レンズの瞳径とスポット径とは

対物レンズの瞳径

対物レンズの瞳径とは、対物レンズの後側から入射することができる軸上平行光線の最大径を指します。以下の式で計算できます。

$$\text{瞳径} (\phi) = 2 (N.A.) f$$

N.A.: 対物レンズのN.A.
f: 対物レンズの焦点距離



対物レンズによるスポット径

対物レンズの後側から均一な強度分布を持ったビーム光を入射させると、対物レンズが全くの無収差であっても、光の回折現象により、ある大きさを持ったスポットになります。スポット径の目安は以下の式で計算できます。

$$\text{スポット径} (\phi) = 1.22 \times \frac{\lambda}{N.A.} \quad (\text{参考値})$$

N.A.: 対物レンズのN.A.
 λ : 使用する波長

注: レーザ光のように強度分布を持つ光線を使用時は、上式で表せるスポット径にはなりません。

以下、分
関す
P

解能
るH

<http://www.op.titech.ac.jp/lab/Take-Ishi/html/ki/hg/micro/mic5.html>

・光学 2010 黒田和男先生

オリンパス社は、顕微鏡のパーツだけでも販売しています。

他社の顕微鏡では難しいと思います。

顕微鏡の筐体は、モノコック構造をしていて、外部の振動をアイソレートするような構造になっています。顕微鏡でサンプルをCCDカメラでモニ

ターし、レーザーのスポットを見た時、レーザーの位置がピタッと動かなければよいのですが、振動を拾ってしまうとサンプル像がぶれて見えます。

1 μ m分解能でサンプルをモニターしているのだから、そのぐらい当たり前の話ですが、振動したら計測になりません。簡単そうに見えてかなり大変な技術です。

顕微光学系

顕微分光とは、顕微鏡を使用した分光装置です。

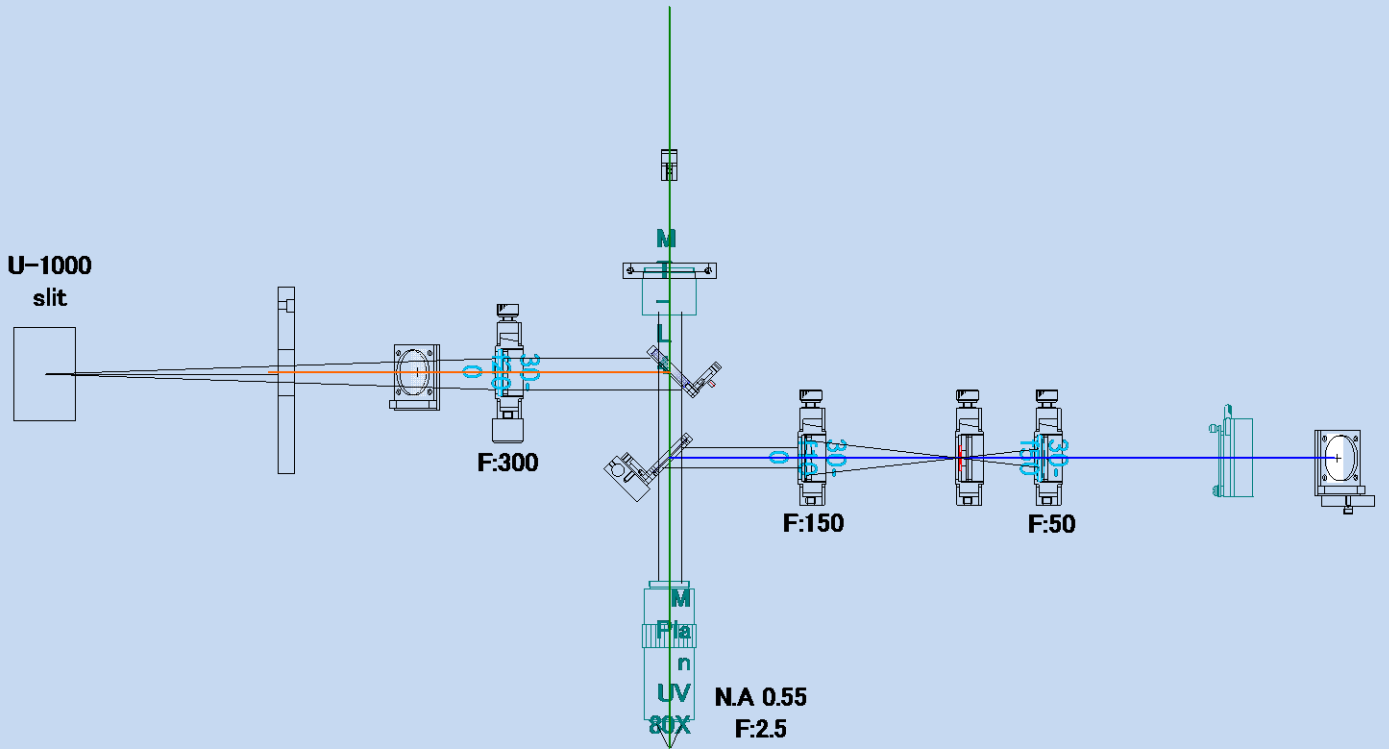
顕微鏡の中にレーザー光を通して、対物レンズでサンプルに集光して、サンプルから発生する光信号を分光器に入れるような光学系です。

オリンパスの顕微鏡は、無限遠光学配置をしています。他社の顕微鏡も同じ光学配置だと思います。

サンプルからの光は対物レンズで平行光になり、イメージングレンズで分光器の入口スリットに集光し

マニュアルサンプルステージも、顕微鏡用のものはなかなか手に入りません。
 筐体+サンプルステージを15万円くらいで購入できると思います。

顕微分光光学系の一例です
 照明は、ケンコーのハロゲンランプ、対物レンズ、レボルバーはミットヨ製です。



顕微の場合、レーザーはシングルモードにします。
 マルチモードのレーザーでは、スポットサイズが大きくなってしまいます。

仕様

空間分解能を上げる方法として、共焦点顕微分光があります。詳細の説明は後述とします。
 共焦点にすることのメリットは、空間分解能が $1/\sqrt{2}$ によくなるということです。
 直径方向の分解能はピンホールの大きさで決まるので共焦点でも分解能が上がることはありませんが、焦点方向の空間分解能が改善されます。

Spatial resolution	<1 um at 80x objective lens.
Wavelength range	200-800nm
PORT	Monitor camera port : 1
	Laser input port : 1
	Optical fiber port : 1
	Illuminator port : 1
Laser filters (three positions)	Laser line filter : 1
	Polarizer : 1
Signal filters (three positions)	Long pass filter : 1
	Polarizer : 1
XYZ sample stage	Less than 1 um accuracy
Auto mortarized stage	4 inch x 3 inch (option)
Objective lens	Select from other sheet
Holder & Changer	Illuminator mirror changer
	Signal mirror changer
Minitor camera	VIS camera standard
	UV camera option

紫外用のレーザー分光に使える顕微鏡がなく、製作しました。
 光半導体が、深青色に向かっています。GaNから、AlNのサンプルのフォトルミ顕微測定をマーケット

トが要求しました。

残念ながら、A1Nの顕微PL分光はいまだに難しいかもしれません。220nmを透過する対物がないからです。カセグレン対物であれば、可能かもしれませんが、倍率を上げることがむずかしいと思います。今、あるカセグレン対物は40倍程度でしょう。N.Aも小さいと思います。イメージングレンズの方で倍率を稼ぐ手はありますが?!どなたか、トライ願います。

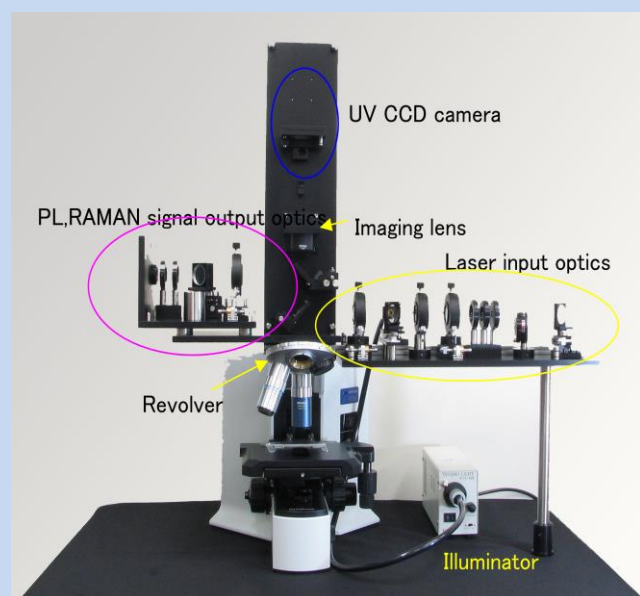
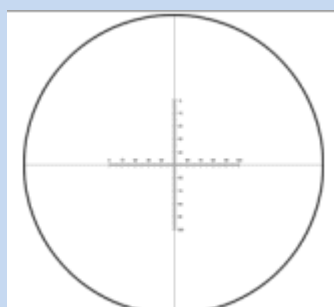
この顕微鏡は、当初、設計から製作まで約3か月かかりました、中国の北京大学に納入しました。トラブルもなく動いてくれていると思います。

目的は、ZnOナノワイヤーの顕微PL測定です。360nmあたりに約20nmのPLが発光します。レーザーは金門レーザーの325nmレーザー（シングルモード）で、ミラーの損失が嫌だったので、レーザ本体を顕微鏡の入射ポート位置までかさ上げしました。

80倍の紫外対物（ミットヨ製）を使用して、マイクロスケールで分解能約0.8 μ mを確認しました。

対物レンズとイメージングレンズを無限に離す配置にはできません。

光学設計上の制約があります。



顕微鏡からの信号の出力は、光ファイバーで分光器に導光しました。

あらゆる分光に取り付けることが可能で、重宝しました。

■対物レンズと結像レンズの配置

弊社長作動距離対物レンズは結像レンズMT-1, MT-2を指定寸法に配置したとき、像視野をφ30mmまでカバーするように設計してあります。しかし、独自の照明光学系やその他の光学素子を挿入するため、指定寸法以上でご使用の時は以下の式でおよその寸法を求められます。

$$\ell = (\phi_2 - \phi_1) \cdot f_2 / \phi \text{ (mm)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\phi_1 = 2 \cdot f \cdot \text{N.A.} \text{ (mm)} \dots\dots\dots (2)$$

- φ₁ : 対物レンズの射出瞳径(mm)
- φ₂ : 結像レンズの入射レンズ径(mm)
- f₂ : 結像レンズの焦点距離(mm)
- φ : 像視野(mm)

(例) M Plan Apo 10×とMT-1を像視野φ24で使用する時、ℓをどれだけ離してもよいか?

$$(2) \text{より } \phi_1 = 2 \times 20 \times 0.28 = 11.2 \text{ (mm)}$$

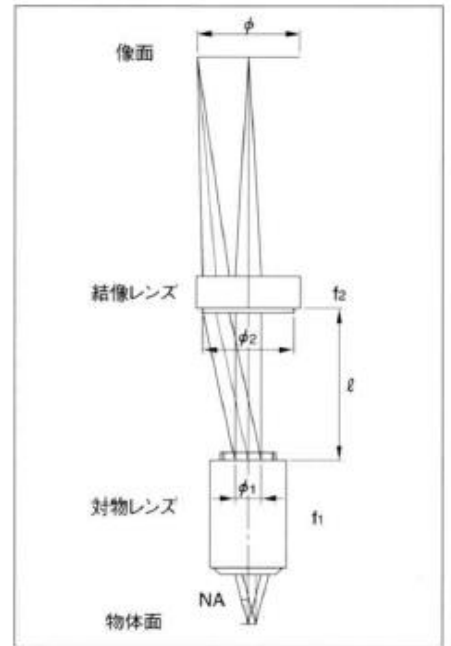
※9ページの仕様欄よりM Plan Apo 10×の焦点距離f=20mm、開口数N.A.=0.28

$$(1) \text{より } \ell = (24 - 11.2) \times 200 / 24 = 106.6 \text{ (mm)}$$

ℓ=106mm離しても像視野φ24ではケラレのない像を作ることができる。

※25ページの仕様欄よりMT-1の入射レンズ径φ₂=24mm、焦点距離f₂=200mm

また逆に対物レンズと結像レンズを指定寸法以下でご使用のときは光学性能に影響はありません。なお、その他詳細についてはお問い合わせください。



顕微光学系では3つの焦点を同一に合わせる必要があります。

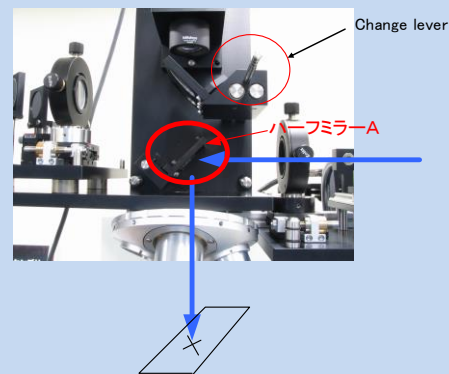
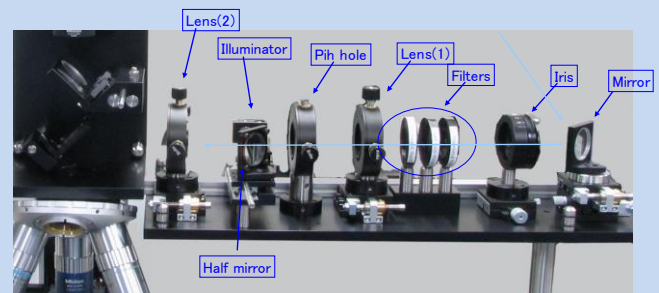
- ・サンプル⇄レーザーの集光の焦点
- ・サンプル⇄分光器のスリットまたは光ファイバーの端面間の焦点
- ・サンプル⇄モニターカメラのCCD素子の焦点位置

使用する部品

- ・ミラー (アルミ 又は、誘電体 レーザー光用)
- ・レーザーラインフィルター (ガスレーザーの場合)
- ・照明 (ファイバーガイド)
- ・照明用ハーフミラー
- ・ハーフミラー (レーザー光を反射し、信号光を透過 特注)
- ・対物レンズ (空間分解からN. Aを計算)
- ・イメージングレンズ (モニターカメラ上に結像 f. l=200mm)
- ・モニターカメラ (芯だし機構、焦点合わせ機構)
- ・ハーフミラー (信号光を分光器側に反射)
- ・集光レンズ (分光器のスリットに結像 f. l=200mm)
- ・フィルター (レーザー光カットフィルター又はラマンノッチフィルター)

レンズ調整機構は、芯だし、焦点合わせ機構が必要です。(シグマ光機のLHCN-30を使用)

ミラーホルダーは小型の物がが必要です。この顕微鏡のミラーホルダーは自社製です。回転、あおり調整ができるミラーホルダーをXY軸ステージに載せています。



顕微鏡の構造は簡単です。無限遠対物レンズとイメージングレンズが顕微鏡の重要な部品で、どちらの部品も自分で製作しているわけではなく、選定だけです。他の部品は、サンプル表面をモニターするため、レ

レーザー光を小さく絞り込むための光学系で、さほど難しいものではありません。

光学系のキット販売でしたら、100万円くらいではないでしょうか？
(販売はしていません。)

BX51顕微鏡の価格よりも安価です。バンザイ！

マクロ光学系について

顕微に対する光学系という意味でマクロ光学系と呼びました。

単レンズでレーザーを集光するのは問題ないですが、信号光を単レンズで分光器に集光するのは問題かもしれません。

単レンズを購入する場合、口径と焦点距離でレンズを選びます。よく、カタログを見ると波長nmのときの焦点距離を記載しています。

たとえば、546.1nmでの焦点距離です。

波長によってレンズの材質の屈折率が変わるので波長が変わると焦点距離が変わります。

(色収差)

材質-BK7

口径30mmφ、f.l 100mmの場合、

@441.6nm	f.l	99.4mm
@514.5nm	f.l	100.5mm
@632.8nm	f.l	101.5mm
@830nm	f.l	102.5mm

材質-合成石英

口径30mmφ、f.l 100mmの場合

@193.3nm	f.l	82.7mm
@248.4nm	f.l	91.1mm
@514.5nm	f.l	100.6mm
@830nm	f.l	102.5mm

紫外側で屈折率は大きくかわります。

この問題を解決するために、アクロマティックレンズを使用します。このレンズは、違う材質のレンズを2枚ないし、3枚張り合わせてつくったレンズです。屈折率の変化を打ち消しあうように組み合わせています。

2種類の材料を使用すると2波長で補正されます。

3種類ですと3波長で補正されます。

残念ながら、一般的にアクロマートレンズは可視用です。

紫外～近赤外までの色消レンズはない。

代わりにミラーを使用します。

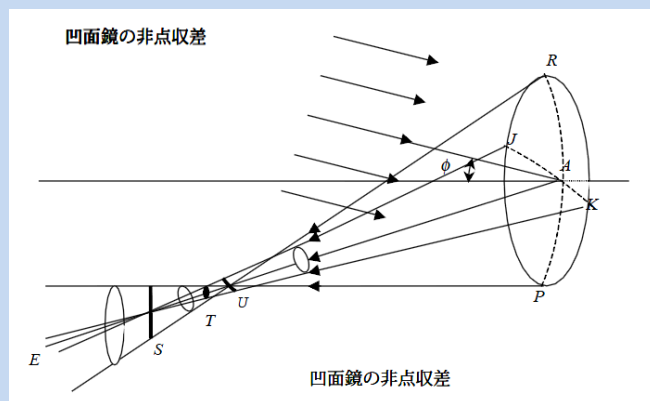
凹面鏡は、手に入りやすいのでよく使われます。



ミラーには色収差はありません。

しかし、凹面鏡を反射ミラーのように使用すると、非点収差が出ます。

縦焦点面と横焦点面の距離の違いにより起こります。

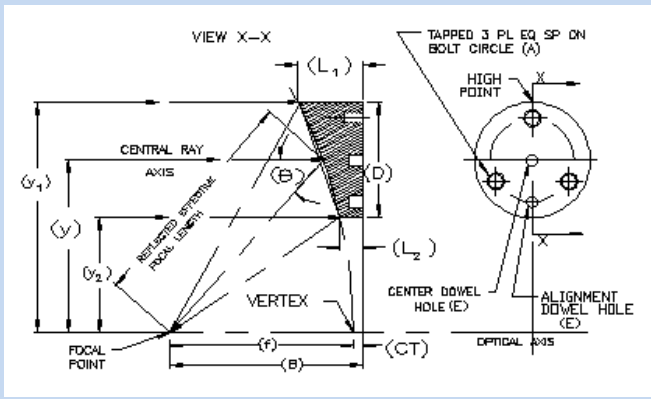


非点収差があると、信号のエネルギーをロスします。分光器のスリットへの集光効率が悪くなります。

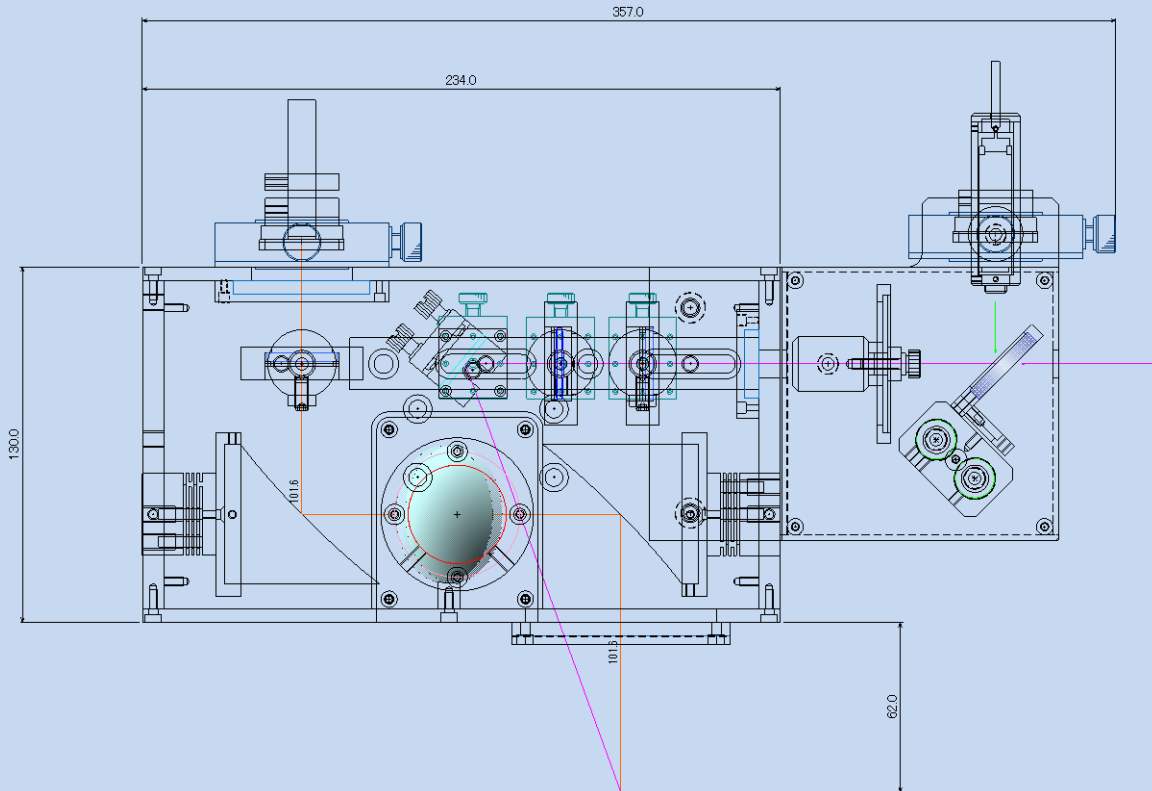
軸外し放物面鏡

軸外し放物面鏡は、非点収差を取り除くために非球面鏡になっています。





波長は、200nmから近赤外まで対応します。サンプル上でレーザー光軸と測定光軸は集光されます。この位置合わせをモニターカメラによっておこなうために、簡単に効率よく光軸調整ができます。



仕様

・ 測定波長域 : 200nmから近赤外

- ・ レーザ集光スポット径 : 50μm以下
- ・ フィルター : 1インチ径
- ・ XYZ微調整機能付
- ・ カラー、輝度自動調整CCDカメラ付
- ・ 石英製可変NDフィルター付

この非球

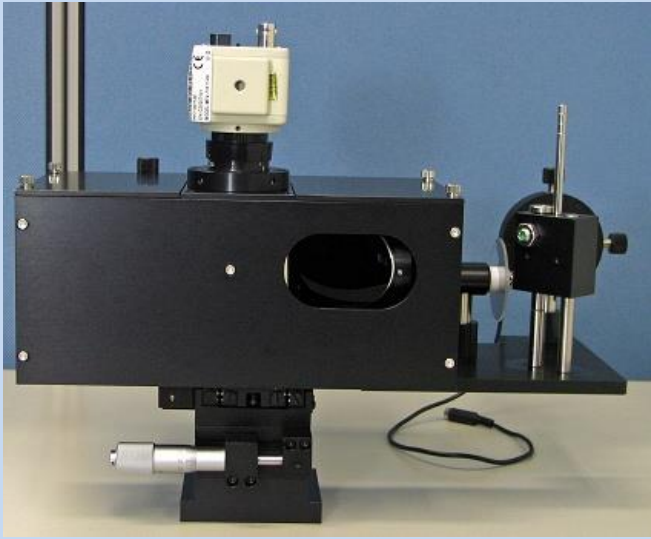
面鏡を使用すると、色収差と非点収差を無視できる光学系になります。また、アルミコーティングのものは紫外域から近赤外域まで使用できます。

フォトルミネッセンスの発光は波長に対してブロードなことが多く、非点収差がない光学系が必要です。

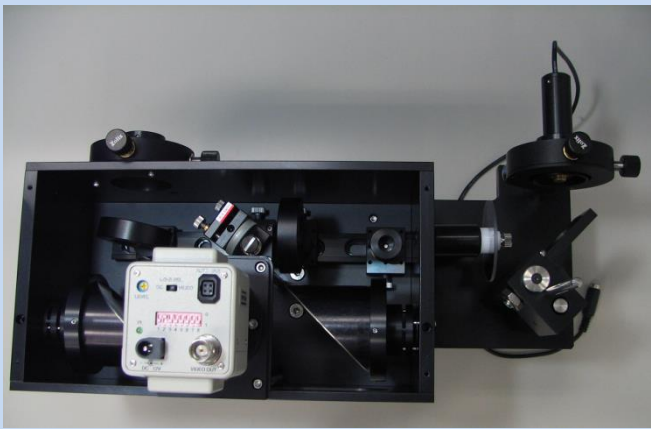
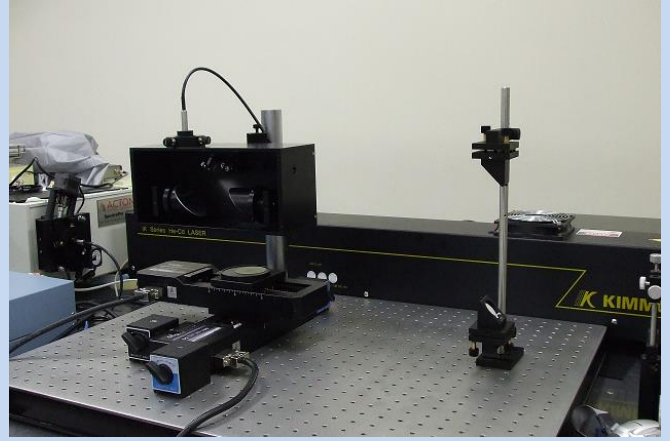
マクロ光学系の一例を説明します。

紫外から近赤外でのルミネッセンス、ラマン散乱、蛍光などのレーザー分光測定を簡単におこなうことを目的に開発された光学系です。

トロイダル鏡によってサンプルから発生した光は効率よく光ファイバまたは、直接、分光器スリットに導かれます。トロイダル鏡を使用しているため色収差がないので、スペクトルの色収差による強度ぼけがありません。また、非点収差もないので、サンプルから発生した光の集光性は非常に高くなります。



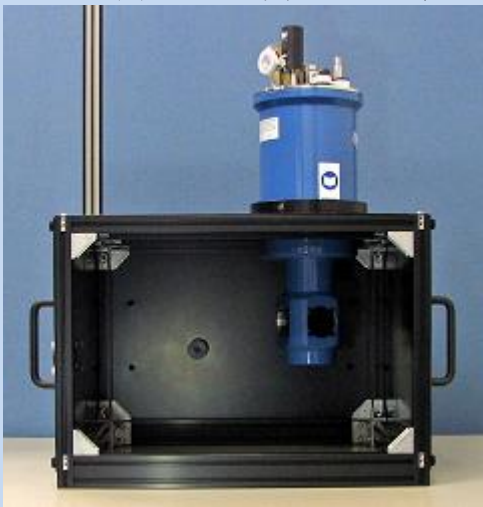
開発段階



現在、販売はしておりません。
 光計測システムとして、ご参考までの掲載をしています。
 この光学系は非常に明るい光学系です。
 しかもコンパクトです。
 この光学系とクライオスタットを組み合わせて使用しました。
 クライオ、光学系は暗箱の中に設置します。

全自動ホトルミネッセンス計測装置

本装置は、高速でユーザフレンドリーに操作がおこなえる全自動ホトルミ計測装置です。
 サンプルウェハを装填し、コンピュータの測定ボタンを押すと、簡単にウェハマッピングがおこなえます。



また、この光学系を発展させて、自動マッピング装置を製作しました。



- コンパクトな半導体レーザを採用し、ランニングコストを大幅に低減しています。
- 測定波長域は、レーザ、検出器を選定することによって、200nm～1700nmに対応します。PL光デリバリング光学系はすべてミラーを採用しているので光学収差がありません。
- 装置全体の大きさは、800W x 700D x 1100Hと非常にコンパクトで、パソコンがあれば計測が可能です。
- 測定精度は、高速マッピング時、波長精度が1nm以下、マッピング繰り返し位置精度は、50μm以下です。また、精度マッピング時、波長精度を10倍、マッピング位置精度も10倍向上し、測定モードを切り替えて使用ができます。
- メンテナンス性を向上させるために、レーザを2台搭載することができます。1台のレーザが故障または寿命により停止した場合でも、2台目のレーザに簡単に切り替え、メンテナンス時の時間ロスをなくすることができました。

標準仕様	
測定時間	2min/wafer
レーザ	405nm-300mW
分光器	30cm焦点距離 グレーティング3枚内臓
検出器	背面照射型CCDカメラ
測定対象	強度、波長、半値幅
データ	ASCIIデータまたはバイナリ イメージ出力



サンプルの装着が簡単に行えます。

