

## 質問コーナー

### 「物性なんでも Q&A」第 9 回

赤外光物性

佐藤勝昭 科学技術振興機構

このコーナーでは、小生のホームページの「物性なんでも Q&A」コーナーに寄せられた質問と回答の中から、結晶工学関係者にご関心のありそうなものをピックアップしてご紹介しています。ここでは第 9 回として、企業の方からの質問が多い赤外光物性に関する質問をご紹介します。

| 分類    | 番号   | 質問内容        | 所属   |
|-------|------|-------------|------|
| 赤外光物性 | 274  | カーボンの赤外透過率  | 高校教諭 |
| 赤外光物性 | 282  | 金属微粒子の赤外光物性 | 企業   |
| 赤外光物性 | 355  | ガラスの赤外特性    | 企業   |
| 赤外光物性 | 793  | 豚レバーの赤外分光特性 | 研究施設 |
| 赤外光物性 | 1126 | プラスチックの赤外吸収 | 企業   |

#### 274. カーボンの赤外透過率

Date: Thu, 30 Oct 2003 14:10:23 +0900

Q: 佐藤先生、先生の Web 上の Q&A を見ての質問です。

私は高校で地学を中心に教えているものです。現在、太陽面では大型黒点が出現していて、磁気嵐やオーロラ出現など地球にもいろいろと影響が出ています。

そこで、この肉眼で容易に見える太陽黒点を生徒に見せたいと思っていますが手軽に太陽光を減光する手段として、顕微鏡プレパラート用のスライドグラスにろうそくの炎（内炎）でススをつけたものをサングラスにしたいと思います。

ここで気になるのが赤外における透過特性です。

かつてネガカラーフィルムの感光部をサングラス代わりにするのは、赤外部の透過が結構大きいため失明の危険があると指摘されて、教材として子どもたちに見せるのはやめようということになりました。

私の小学校時代に、確かにガラスにススをつけて太陽を観察した思い出があります。太陽の赤外部のスペクトルはよく調べられているので、スス（特にろうそくの炎で作られるもの）の赤外部の分光透過特性がわかれば、目に到達する赤外光の強度はすぐに判明します。

実験データでなくとも、理論的な予想でも結構ですので、何かわかればお教えてください。

高等教諭 O

Date: Thu, 30 Oct 2003 16:29:13 +0900

A: O 先生、佐藤勝昭です。

メールありがとうございます。

グラファイト単結晶は異方性が大きく常光線と異常光線とでは屈折率、消光係数ともかなりのちがいがありますが、粉体の場合には、吸収係数の大きな常光線に対するものが支配的になります。赤外部の常光線に対する消光係数は Palik の Handbook of Optical Constants of Solids II の p454 にある Fig. 1 および p.455-の Table I に載っています。

消光係数  $k$  と吸収係数  $\alpha$  の関係は  $\alpha = 2\omega k/c = 4\pi v k/c = 4\pi k/\lambda$

透過率と吸収係数の関係は厚さ  $d$  として  $T = \exp(-\alpha d)$

ですから、膜厚 = 200nm として透過率を計算しますと

| □ 波長 $\lambda(\mu\text{m})$ | 消光係数 $k$ | 吸収係数 $\alpha$ | 透過率 $T$ (%) |
|-----------------------------|----------|---------------|-------------|
| 0.8266                      | 1.9      | 2.8870E+05    | 0.31072598  |
| 1.033                       | 2.07     | 2.5169E+05    | 0.651448572 |
| 1.55                        | 2.91     | 2.3580E+05    | 0.895021773 |
| 2.066                       | 3.25     | 1.9758E+05    | 1.922397099 |
| 3.1                         | 3.82     | 1.5477E+05    | 4.52554462  |
| 4.133                       | 4.48     | 1.3615E+05    | 6.568376711 |
| 5.555                       | 5.318    | 1.2024E+05    | 9.028108014 |

|       |       |            |             |
|-------|-------|------------|-------------|
| 6.061 | 5.52  | 1.1439E+05 | 10.14914324 |
| 7.143 | 5.775 | 1.0155E+05 | 13.12158789 |
| 8.856 | 6.29  | 8.9208E+04 | 16.79388465 |
| 12.4  | 8.75  | 8.8629E+04 | 16.98939865 |
| 15.5  | 10.8  | 8.7515E+04 | 17.37223795 |
| 20.66 | 14.02 | 8.5233E+04 | 18.18345126 |
| 30.99 | 20    | 8.1058E+04 | 19.76676649 |
| 61.99 | 33.49 | 6.7855E+04 | 25.74051313 |

となります。Excel ファイルをアップしました。膜厚を B1 に入れると透過スペクトルが計算できます。これを見ると、近赤外線はほとんど透過しませんが、中赤外線は結構透過するようです。参考にして下さい。

Date: Thu, 30 Oct 2003 18:58:08 +0900

AA: 佐藤先生

O です。早速メールのご返事をいただきありがとうございます。さらにお電話までいただき恐縮しています。太陽の観察では、可視光での減光は 10-5 程度が適当ですのでグラフィットの膜厚はもっと厚くなります。さっそく送っていただいた Excel で膜厚を変えて再計算しました。太陽を適度の明るさで見られるようにするには、ススの層の厚さは 0.1mm 近い厚みが必要ですので以下の表よりももっと透過率は小さくなると思います。膜厚 = 550 nm

| □ 波長 $\lambda(\mu\text{m})$ | 消光係数 k | 吸収係数 $\alpha$ | 透過率 T (%)   |
|-----------------------------|--------|---------------|-------------|
| 0.8266                      | 1.9    | 2.8870E+05    | 1.27069E-05 |
| 1.033                       | 2.07   | 2.5169E+05    | 9.73129E-05 |
| 1.55                        | 2.91   | 2.3580E+05    | 0.0002331   |
| 2.066                       | 3.25   | 1.9758E+05    | 0.001907957 |
| 3.1                         | 3.82   | 1.5477E+05    | 0.020095316 |
| 4.133                       | 4.48   | 1.3615E+05    | 0.055977003 |
| 5.555                       | 5.318  | 1.2024E+05    | 0.134242816 |
| 6.061                       | 5.52   | 1.1439E+05    | 0.185216981 |
| 7.143                       | 5.775  | 1.0155E+05    | 0.375372612 |
| 8.856                       | 6.29   | 8.9208E+04    | 0.739887527 |
| 12.4                        | 8.75   | 8.8629E+04    | 0.763817351 |
| 15.5                        | 10.8   | 8.7515E+04    | 0.812088509 |
| 20.66                       | 14.02  | 8.5233E+04    | 0.920682464 |
| 30.99                       | 20     | 8.1058E+04    | 1.15830515  |
| 61.99                       | 33.49  | 6.7855E+04    | 2.394403289 |

太陽光のスペクトルは中間赤外以遠では光量が極端に落ち、さらに地球大気減光も効きますのでまず問題ないと思います。ただ、ガラス上のススは剥がれやすいので、あくまで間に合わせとしての使用に耐えるという程度で、実際には、佐藤先生が電話でお勧めくださったように金属蒸着膜によるサングラスが最適であると思います。

なお、これらの議論は昨日から今日にかけて天文教育関係の ML で盛んに議論されました。佐藤先生からのメールと Web サイト (もうアップロードされたのですね、すばやい!) を引用して、定量的に決着をつけることができました。どうもありがとうございました。

## 282. 金属微粒子の赤外光物性

Date: Sat, 15 Nov 2003 23:23:44 +0900

Q: 初めまして。電機会社で無機材料の研究、開発を行っています H です。大変申し訳ないのですが、社名、名前も匿名でお願いいたします。

酸化物バルクや薄膜合成、通電特性の評価に長く携わってきましたが、最近、光に関連するデバイス、評価の仕事に変わりました。光学定数で検索をかけましたら、このような素晴らしい先生のサイトに出会いました。そして、最近疑問だらけで困っておりましたので、どうしても質問したく思いました。

素人質問ばかりで、質問数が多く、大変恐縮なのですが、ご回答願えますでしょうか。

**\* 1 金属 (例えば AL) を微粒子化すると何色に変わるのでしょうか? (可視光では黒ですか?)**

Q1-1: 金属微粒子の色は微細組織に関係するというのですが、赤外の吸収についてもナノレベルの凹凸効果はあるのでしょうか? 凹凸を感じずに透過してしまうのでしょうか?

Q1-2: 金属をナノ粒子化するとサイズに伴って光学定数が変化することはありますか?

Q1-3: 赤外線の 1/2 波長 5 マイクロメートルより金属粒子が小さくても、赤外線を反射できますか? (光学定数が変わらなければ、反射率も変わらないと考えていいですか?) 透過してしまいますか?

Q1-4: 白金黒は赤外線のように波長が長い光に対して、どのように振る舞いますか?

Q1-5: カーボンブラックが黒いのは、なぜですか?

Q1-6: 数 nm の金属微粒子集合体、分散体は、マクロ的に赤外線を反射も透過もしない吸収体になりえるのでしょうか?

Q1-7: 上記の金属微粒子集合体、分散体の吸収量と、カーボンブラックのような黒い物質の吸収量とを比べると、どちらが大きいのですか?

Q1-8: また、水、有機物のように分子運動で赤外線を吸収する場合、半導体のように (赤外線を吸収するものがあるかどうかはわかりませんが) 光を吸収する場合と比べると上記金属微粒子集合体、分散体の吸収量は、小さいのでしょうか? (全て 1000 Å の厚みとする)

**\* 2 Al の高い赤外反射率は、n、k と電子状態から説明できるものなのでしょうか?**

中赤外の金属の反射は、” 一般に貴金属が高く、遷移金属は低いようです。メッキのしやすさからいえば、Ni” と、コメントされておられますが、表において例外として Al が一番反射率が高くなっています。Al の特異な振る舞いは、n、k と電子状態から説明できるものなのでしょうか?

**\* 3 温室が暖くなる理由**

温室が暖くなるのは、ガラスが赤外線を吸収し、ガラスが熱くなるからですか? それとも、外からガラスを通過し内部に入った赤外線が、外に出られなくなり、内部の空気、植物等の水分や有機物に吸収されるからでしょうか?

**\* 4 エリプソメトリで測定した n、k の妥当性**

Si 基板上に CVD で成膜した hidrocarbon 等の有機物が多く残っている光学定数のわからない薄膜の膜厚をエリプソメトリで測定しました。測定レシピとして SiO<sub>2</sub> on Si を使ってコーシーの式でフィッティングしたところ非常によく測定値とシミュレーションが一致し、妥当な膜厚値がえられました。n、k は 500 nm あたりから長波長側で小さくなり、とくに K は長波長側で殆どゼロかわずかにマイナスという値になりました。他の人が吸光度計の測定値から出した K のプロファイルでは、短波長は小さく、長波長では大きくなるという結果になっています。フィッティングがうまくいき、膜厚が妥当であれば、n、k は妥当な値が得られていると見ていいのでしょうか。

どうぞ、宜しくお願いいたします。

---

Date: Sun, 16 Nov 2003 17:34:11 +0900

A: H 様、佐藤勝昭です。

非常に多くの質問を頂きましたが、金属微粒子の光学的性質の詳細については、私も余り経験がなく、ご質問に正しく答えられるか自信がありませんが、一般的なこととお答えしておきます。

**A1-1:** アルミをただ微粒子化しても、灰色になるだけです。ヤスリで擦って出てきた粉末を見たことはありませんか。これに対し白金黒も現像銀も化学的な方法で微細化しているので、単なる微粒子化したものとは異なります。

**A1-2:** 一般に半導体などのフォノンの赤外吸収の測定では、試料を粉末にして、アルカリハライド粉末に混入してプレスで錠剤に成形して透過率を測定することが行われています。これは、微粒子化することにより物性が変わらないことを前提としています。白金黒のようにナノレベルの構造を作ることによって、電子構造が変わってしまったとしたら、当然赤外部の電子状態間の吸収も変わるでしょうし、ナノレベルの凹凸などによって結晶構造が変われば、格子振動 (フォノン) にも変化が起き赤外吸収についても変わるかも知れません。

**A1-3:** 金属を微粒子化して誘電体に埋め込みますと、誘電率が金属と誘電体の重み付き平均的なものによって見かけの光学定数が変化します。金属微粒子を添加したガラスのカラーはマクスエル・ガーネットの理論で説明できます。例えば、赤色のガラスはガラスに金の微粒子を均一に添加したものです。

**A1-4:** 微粒子化した金属の有効誘電率をもとめて変わらなければ反射率も変わらないでしょう。しかし、白金黒のようにナノ構造によって電子構造が変わって自由電子がなくなったような状態になれば、光学定数も変わり、反射率も変わるのではないかと思います。調べたことはありません。

**A1-5:** カーボンブラックは炭化水素の不完全燃焼でできる炭素の微粒子です。結晶構造はグラファイト構造をしており、光学異方性があります。グラファイトは、蜂の巣構造の炭素の層がファンデアワールス力で結びついた層状物質です。このため、面内では金属的電子構造、面間は半導体的電子構造になっています。グ

ラファイトの c 面に垂直入射した光の電界に対して、誘電率は面内の自由電子のためにドルーデの式に従って実数部が負となり、比較的高い反射率を示しますが、斜め入射した光の電界については面内成分は金属的、面直成分は半導体的となり、反射率は余り高くありません。カーボン微粒子のサイズが波長と同程度の凹凸を持っていたとすると、入射光は多重散乱され、最終的には吸収されて戻ってこなくなります。これがカーボンブラックの黒い理由です。

**A1-6:** 微粒子の粒径、分散する母体など、さまざまな条件を考慮して最適化すると、反射を極力抑えることが可能であると思います。吸収については十分な厚みが必要です。

**A1-7:** 表面を荒らすなどして何らかの方法で反射を抑えることができれば、金属の方が赤外吸収が大きいと思います。

**A1-8:** 分子振動でも強い吸収、弱い吸収があります。分子振動の吸収では、吸収のピーク波長では吸収が強いですが、それ以外の波長では弱いです。金属の自由電子による吸収は、波長に対して連続的で、長波長ほど大きくなります。半導体の吸収は、吸収端より短い波長で吸収が始まり、波長が短いほど大きくなります。従って、一概にどの吸収が一番大きいか言えません。

**A2:** Al, In は遷移金属でも貴金属でもありませんが、ともに高い反射率を示します。決して例外ではなく、これらは 3 価の非磁性金属で動きやすい自由電子の数が多いことが原因でしょう。

**A3:** 後者が正しいのです。ガラスは可視光線は透過するが赤外線は通しません。ガラスを通った可視光線が植物に吸収され、熱(赤外光)に変換されますが、赤外線はガラスをから外に逃げないので温かいのです。

**A4:** 半導体や絶縁体ならば、吸収端があり、それより長波長では  $k=0$  になります。従って、あなたの測定結果は reasonable です。(Si 基板上の膜の 500nm 付近の吸光度は光が通らないので不可能です。何か間違っておられるのではないのでしょうか。) なお、 $k$  は負の値をとることはありません。 $k$  が負であれば、適正でないパラメータが使われたと思われます。光学定数  $n, k$  も膜厚  $d$  もわからない物質の  $n, k, d$  を決めることは基本的には不可能です。何らかの仮定をしているはずで、装置に組み込まれたソフトを使う前に、そのソフトがどのような原理で膜厚や光学定数を導いているのかなどを取説で良く読んで、注意しながらお使いになるようお勧めします。

Date: Mon, 17 Nov 2003 00:11:11 +0900

佐藤先生

早々に、夕方にお返事を頂きましてありがとうございます。

今日の午後は、日差しがまぶしい程の良いお天気でしたが、沢山の質問の回答の為に、お時間を割いてくださりまして、申し訳ありません。

### 355. ガラスの赤外特性

Date: Fri, 14 May 2004 19:17:22 +0800

Q1:佐藤先生、

先生のホームページを赤外光反射物質の検索をかけている際に見つけました、コーティング剤の研究を始めた K 社の K です。(できれば匿名にてお願いいたします。)

先生のホームページ非常に興味深く勉強させていただいています。あまり専門的な部分についてはわからないところも多いのですが、守備範囲の広さに驚くばかりです。ところで、コーティング剤の対象物としてさまざまな質問内容を拝見させていただいている間、質問事項 282、「金属微粒子の赤外光物性」で、

「Q: 温室が暖くなるのは、ガラスが赤外線を吸収し、ガラスが熱くなるからですか?それとも、外からガラスを通過し内部に入った赤外線が、外に出られなくなり、内部の空気、植物等の水分や有機物に吸収されるからでしょうか?

→ A: 後者が正しいのです。ガラスは可視光線は透過するが赤外線は通しません。ガラスを通った可視光線が植物に吸収され、熱(赤外光)に変換されますが、赤外線はガラスをから外に逃げないので温かいのです。」という説明に少し追加事項を加えられればと思いました。

「一般に広く使われている、反射などの機能が付与されていない透明な板ガラス(フロート板ガラス)の場合、一般に太陽光の 300nm~2,700nm をよく透過するといわれています。」(旭硝子板ガラス建材総合カタログ、技術資料編 2-1、板ガラスの特徴の光、熱と板ガラスの項参照)板ガラスの厚みにより、エネルギー透過率は変化しますが、例えば、3mm 厚の場合、300nm~2,700nm の範囲では平均 80%程の透過率が有ります。それに対し、2,700nm 以降になりますと、透過率は 30%以下に下がる特性を持っています。(分光データについては当方も分光器にて実際に測定してみましたが公表されていたデータに近い数値が出ていました)

ですから、なぜ温室の室温があがるかについては、日射の放射エネルギーは短波長側にシフトしているためガラスはこの部分のエネルギーは透過させますが、一度、温室内の植物、室内の壁や、床、家具などに

吸収され再放射される際には長波長側にシフトしてしまい、ガラスがより透過させにくい 2,700nm 以上の長波長側になっているため、温度が上昇すると思われます。(旭硝子板ガラス建材総合カタログ、技術資料編 3-1、2 日射と室内発熱の項参照)

Date: Fri, 14 May 2004 20:40:56 +0900

A1: K 様、佐藤勝昭です。

おっしゃるとおり、2700nm 以上の波長の赤外線を透過しないというのが正確でしょう。ただ、赤外線でも 2500nm より短い波長域のものは「熱」としては扱えないと思います。

Date: Sat, 15 May 2004 13:52:33 +0800

Q2: 佐藤先生、

K 社の K です。早速のご回答いただき誠に有難うございます。

先生より御指摘いただきました点、当方勉強中の赤外遮蔽と省エネ、快適な居住空間の関係において関連がありますので大変興味があります。先生より御指摘いただきました、2,500nm 以下の短波長ものは熱としては扱えないということでした。文献によって若干の違いがあるようですが、一般に太陽光の波長を 280nm~2,500nm としています。(ISO9050:1990 等)

建築やガラス業界では省エネを目指す場合、ガラスよりの熱流量を抑えるためにいかに可視光透過率を下げずに近赤外の 780nm~2,500nm を遮蔽できるかが競われています。それで、当方の理解ではこの近赤外の部分も「熱」として理解していたのですが、当方が引用しました旭硝子の資料でも、「室内で発生する放射は、発熱源が比較的常温に近いために波長が長くなるというように、その波長域が異なるため分けて考えるのが普通です。」との記述がありました。(旭硝子板ガラス建材総合カタログ、技術資料編 3-1、2 日射と室内発熱の項参照)

先生より御指摘受けましたいわゆる「熱」というのはこの長波長の事を指しておられると理解してよろしいのでしょうか。また、人体が感じる快適度という点では、780nm~1,200nm 付近(これも文献により若干の幅あり)を遮蔽することにより皮膚が感じる不快なジリジリ感が押さえられるとも言われています。近赤外は物質の表面温度を上げる効果があると理解しているのですが、それとあわせて考えると、当方の考え方は理屈にかなっているように思われるのですが、この場合、体感する「刺激(ジリジリ感)」と「熱」とは必ずしも同一、あるいは一致しないこととなります。この考え方は正しいのでしょうか。

舌足らずな説明で申し訳ありません。御意見お聞かせいただければ幸いです。

Date: Sat, 15 May 2004 16:27:19 +0900

A2: K 様、佐藤勝昭です。

黒体放射(昔は黒体輻射といいました。英語ではどちらも **black body radiation**)のことをご存じと思いますが、ある温度の物体が放射している電磁波の波長分布は、ある波長をピークとして幅の広い波長範囲に広がっています(プランクの放射法則)。ピーク波長は温度が低くなると長波長にシフトします(ウィーンの変位則)。室温付近の温度の物体からの黒体放射のピークは中赤外にあります。ガラスの温室効果においては室温付近の物体からの長波長の電磁波の放射を外に逃がさないという意味があります。最近、環境問題で温室効果が注目される 2 酸化炭素  $\text{CO}_2$  は、分子振動による強い吸収帯が波長  $10\mu\text{m}$  付近にあるため、宇宙への熱放射が抑えられるとされています。

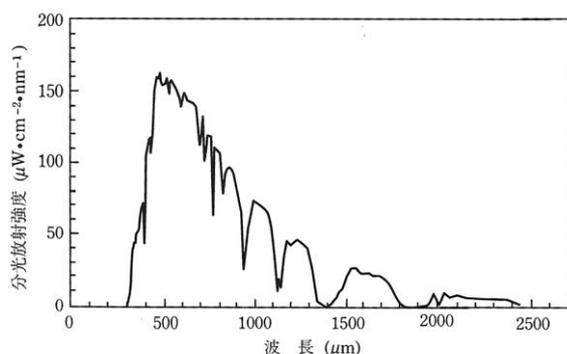


図 3.2 基準分光散乱分布 (TC-82)

さて、K 様のご質問は、波長の短い電磁波を物体が受けたときにどれくらい温度が上がるかというご質問だと理解します。例えば、カーボンにいかなる波長の電磁波をあてても吸収され熱に変わります。可視-近赤外線センサーとして「真空熱電対」が使われますが、これはカーボン板で光を熱に変え、熱を熱電対で電気に変換するセンサーで、感度に分光特性をもたないので重宝です。太陽光を分光してこのセンサーで受けたとしますと(分光器の能率が波長に依存しないなら)500nm にピークをもち、長波長側に長く裾を引いた「分光放射強度曲線」が得られます。添付図(国際電子技術委員会 TC-82)

これを見ますと 300nm-780nm の可視光積分強度と、780-2500nm の近赤外積分強度は同程度です。ガラスを通して、350-2500nm の波長範囲の太陽光が入射して、それが物質に吸収され、すべてが熱に変わるとすれば、可視光の光による物質の温度上昇と近赤外の光による温度上昇は同程度となります。

日射熱カットガラスとして市販されているのは、可視域の透明度を保ったまま、コーティングによってこの近赤外光をカットすることで、日射による温度上昇を防ぐものです。太陽光の熱をカットするのではなく

太陽光のうち可視光以外の成分をカットして物体が吸収して熱を発生して温度上昇する分を減らすという意味です。もちろん可視光だって物体が吸収して熱になる（従って皮膚がじりじりする）のですが、それまでカットすると窓ガラスの意味がありません。目の感度の低い 700-780nm, 380-400nm をカットし、さらにすこし透明度を落とせば、70%くらいはカットできるでしょう。

-----  
Date: Mon, 17 May 2004 10:45:57 +0800

Q3: 佐藤先生、

K 社の K です。大変お世話になり有難うございます。当方の質問にお付き合いいただき本当に有難うございます。当方まだまだ勉強不足です。今回の御説明をいただくことにより、今後当方として、「電磁波」「熱」といった基本的な定義の理解をきっちりすることの大切さや、それによって得られるより正確な研究の方向付けが出来たような気がします。

先生にお教えいただいた資料については、同僚とも意見交換をして研究に活用させていただきます。今後も何かとお世話になることがあると存じますが、お力添えいただければ幸いです。今回は誠に有難うございました。

### 793. 豚レバーの赤外分光特性

Date: Mon, 12 Jun 2006 14:22:35 +0900

Q: お世話になります。

原子力研究施設で勤務しております A と申します。HP を拝見の上質問させていただきます。現在 Nd : YAG レーザー(波長 1064nm)を用いて対象物(豚レバー)への照射試験を実施しており、照射中の温度分布を実験結果(サーモ映像)とシミュレーション結果を比較しております。しかし、実験結果とシミュレーション結果では大きく異なってきます。この違いは対象物表面でのレーザーの反射率が影響していると考えております。そこで、文献から分光反射率曲線を調査したのですが可視光(波長 380~700nm)でのデータしかありません。波長 1064nm での分光反射率はあるのでしょうか?お忙しいとは思いますが、宜しくお願い致します。

-----  
Date: Mon, 12 Jun 2006 20:09:46 +0900

A: A 様、佐藤勝昭です。

申しわけありませんが、豚レバーの分光透過率のデータは可視光域も含め手元にありません。反射率を問題にしておられますが、むしろ、吸収係数の方が重要でしょう。豚のレバーの近赤外吸収スペクトルは見つかりませんでした。生体を構成する要素;水、ヘモグロビン、脂肪、チトクロムオキシダーゼの近赤外吸収スペクトルは University College London 医療物理学科のホームページの pdf に載っています。

水、ヘモグロビン、脂肪は 1 μm 付近に吸収のピークがありますが微妙に違います。シミュレーションはおそらく様な媒体を考えておられるのでしょうか、何が光を吸収して熱に変えているかによって、サーモグラフィとの違いが出ているのではないのでしょうか。

-----  
Date: Tue, 13 Jun 2006 09:17:32 +0900

AA: 佐藤勝昭様

早速のご返答ありがとうございます。原子力施設の A です。反射率ではなく吸収係数を視点に調査していきたいと思えます。また、実験によりサンプル数を増やすことでサーモグラフィとシミュレーションとの差から吸収係数を見積もることも考えております。先日はお忙しい中ありがとうございました。

### 1126. プラスチックの赤外吸収

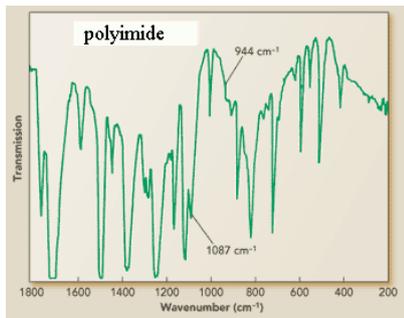
Date: Thu, 20 Nov 2008 13:47:28 +0900

Q: はじめまして、O社 開発技術課 I と言います。佐藤先生の HP を拝見させていただき、先生の知識をお借りしたく、メールさせていただきました。

現在、「9.3μm~9.4μm の遠赤外線を透過し、それ以外の赤外線を吸収するプラスチック」を探しています。これを人の検知に利用したいと考えている為、人が発する遠赤外線(9.3μm~9.4μm)だけを透過できればプラスチックなら理想ですが、5μm~15μm 程度(焦電センサなどで利用される人体検知用光学フィルタと同等)の透過でも問題はあります。

プラスチックに限定している理由は焦電センサに利用する安価なプラスチック製フレネルレンズに光学フィルタの機能を付加できないかと考えているためです。

当社は焦電センサ及びプラスチックに精通した者がおらず、情報をネットで調べたり、工業試験所に問い合わせたりした結果、遠赤外線を透過させるには、ポリエチレンがもっとも適しているのではないかと考えております。ただし、ポリエチレンの赤外分析チャートからは遠赤外領域における波長依存性がほとんどみられないので、そのままでは目的のフィルタとしては利用できません。(赤外分析チャートは周波数に対する透過率ですが、500cm<sup>-1</sup>~25cm<sup>-1</sup>を 20μm~4mm の波長に読み替えて判断しました。)



ポリイミドの赤外透過スペクトル

実際、安価なプラスチック製フレネルレンズにはポリエチレンが使われていますが、赤外線波長の波長依存性は確認できませんでした。

そこで質問ですが、

1. ポリエチレンに赤外線の波長依存性は無いという私の認識は正しいでしょうか？

2. 1. が正しい場合、ポリエチレンに他の材料を混ぜる、または、安価な別の材料と組み合わせる事(ポリエチレンに別材料のフィルムを貼るなど)で特定の波長(9.3 $\mu\text{m}$ ~9.4 $\mu\text{m}$  または 5 $\mu\text{m}$ ~15 $\mu\text{m}$ )だけを透過できる方法がありますか？あるなら、その組み合わせはどのようなものでしょうか？また、特定の波長だけを透過できるようになる形状(厚みや光を屈折させるレンズ形状など)はありますか？

3. ポリエチレンに限らず、特定の波長だけを透過できるプラスチックはありますか？あるなら、それは何でしょうか？

4. プラスチックに限定せず、特定の波長だけを透過する光学フィルタに使える安価でフレネルレンズに加工しやすい材料はありますか？

以上、お忙しい中、申し訳ありませんが、ご教授いただけますよう、お願いいたします。

Date: Fri, 21 Nov 2008 01:29:51 +0900 (JST)

A: 井上様、佐藤勝昭です。

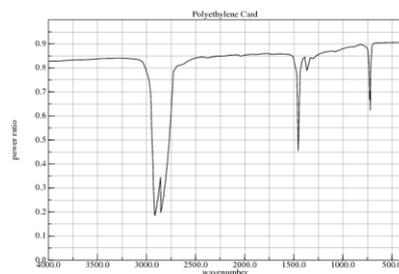
プラスチックの光学特性は専門外ですが、すこし調べてみました。

**A1** : ポリエチレン一部の波長 (720 $\text{cm}^{-1}$ (13.9 $\mu\text{m}$ ), 1470 $\text{cm}^{-1}$ (6.8 $\mu\text{m}$ ), 2900 $\text{cm}^{-1}$ (3.45 $\mu\text{m}$ )) を除いては吸収がありませんからあなたの認識でよいと思います。

**A2** : 上記波長領域は分子振動による吸収の領域なので、いろいろな振動スペクトルをもつプラスチックを探し出して混ぜるしかありませんが、適当な分子振動の吸収スペクトルがあるか、また均一に混じるかを調べなければなりません。

**A3** : ポリイミドは図のように多数の吸収線があり、1000 $\text{cm}^{-1}$ (1 $\mu\text{m}$ )付近に透過帯があります。透過率が低いですが、目的によっては使えるかも知れません。

**A4** : フレネルレンズに加工できるような材料はないと思います。多層膜で干渉フィルタを作ることができれば、特定の波長帯を透過するバンドパスフィルタができると思います。



ポリエチレンの赤外透過スペクトル

Date: Fri, 21 Nov 2008 11:27:05 +0900

AA: お世話になっております、Iです。お忙しい中、早々にご返答いただきありがとうございます。各質問について回答いただいた内容から、プラスチック製フレネルレンズに光学フィルタの機能を持たせる事は難しそうだと認識しました。また、ポリエチレンの赤外分析チャートにおける吸収域をカイザーと波長で併記いただいた事で、どの波長が吸収されるのか明確に理解する事ができました。カイザーから波長を求める計算式は工業試験所より教わっていましたが、理解しきれず、3箇所の吸収域はおよそ遠赤外線波長に引っかかっていないだろう程度の認識しか持っていなかった事は恥ずかしい限りです。今回、ご教授いただいた知識を

参考に自身の知識を深め、焦電センサと人体検知の可能性を上げられる製品開発に役立てていきたいと思っております。この度はお忙しい中、対応いただきありがとうございます。

佐藤先生の知識を拝借できました事に感謝しております。

連絡先：独立行政法人 科学技術振興機構(JST) イノベーション推進本部

〒102-0075 東京都千代田区三番町 5 三番町ビル

(2010年 3月 22日)