

スパッタエッチングでできる表面の微細構造（テクスチャ）を紹介します

Keywords: Surface texture, Micro protrusion, Micro hole, Function,
Micro art, Biomimetics

広島大学名誉教授，広島国際学院大学

ハイテク・リサーチ・センター学術研究員

中佐啓治郎（Keijiro Nakasa）

その3

5. 突起物と光・色彩

5.1 突起物（毛や棘）による光の乱反射？

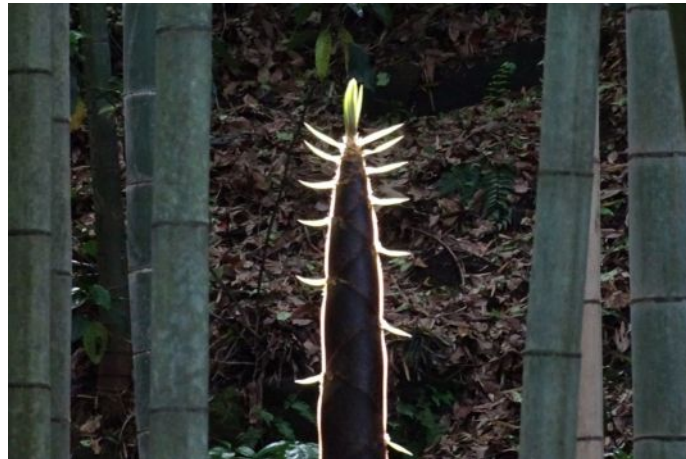
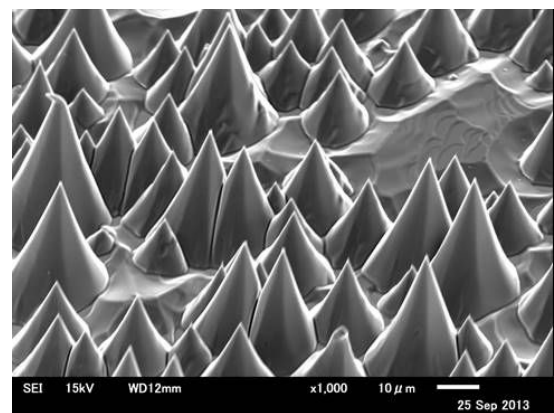


Photo by Hiroko, H .



https://64.media.tumblr.com/a408ad3f9cf3406ac85b2d9f9a0558f1/tumblr_mz1qwgnc81rbx42ko8_1280.jpg



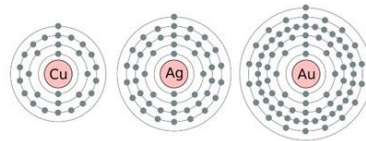
SUS410 鋼のスパッタエッチングで形成された円錐状突起物の電子顕微鏡像：縁が光っているのは，電子線の乱反射？

5-2 構造色，光の干渉

表面のナノ構造による色彩の制御

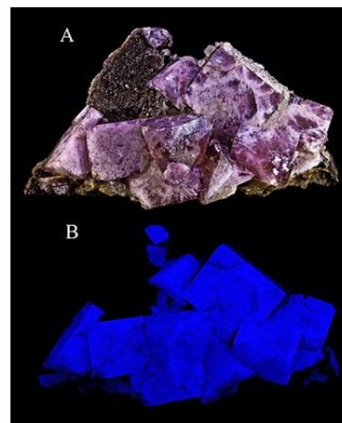


(1) 材料独自の色： 白色光のうち、ある波長 λ の光が表面原子の電子を励起し、エネルギー準位の低い位置から高い位置へ移動させ(電子遷移)、それに相当するエネルギー($E=h\nu=hc/\lambda$)を失う。つまり、その波長の光が吸収され、吸収されなかった波長の光が反射されて色として見える。



(2) 蛍光： 蛍光物質にX線、紫外線、可視光線があたると、電子が励起される。これが基底状態に戻るときに放出される余分なエネルギーが光に変わる(蛍光物質：サマリウムなどの希土類金属の塩酸塩や硫酸塩、モリブデン酸カルシウムなどの遷移金属酸塩)

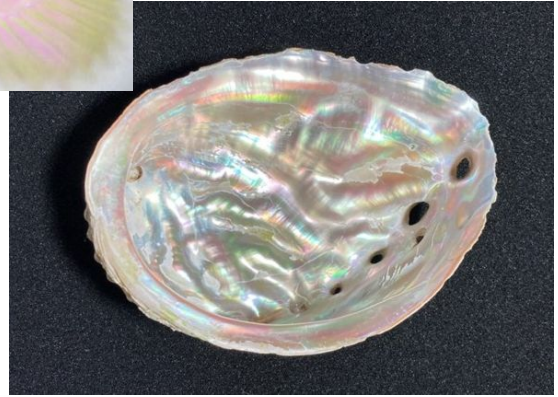
蛍石：フッ化カルシウム CaF_2 を主成分とする鉱物



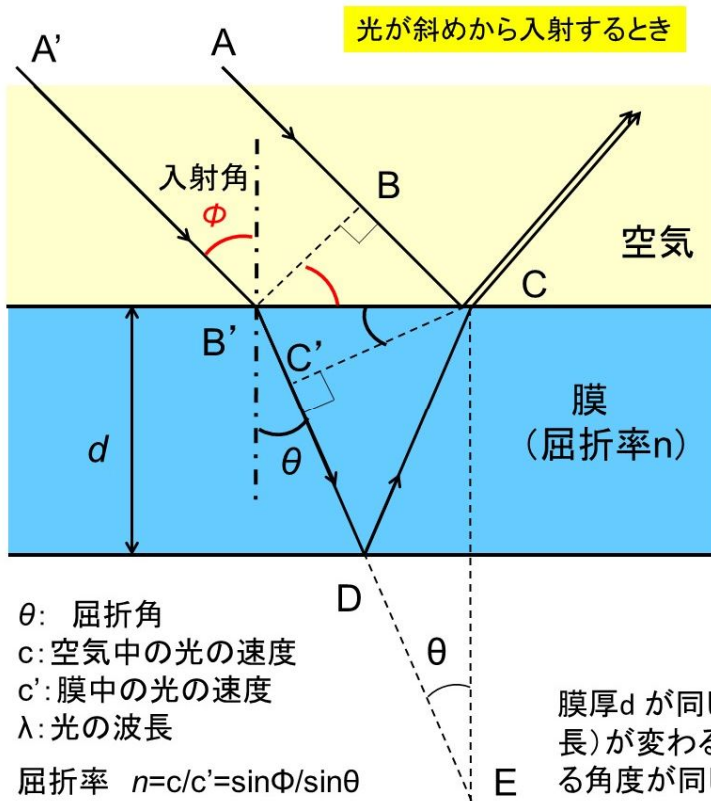
蛍石は、短波紫外線に照射され蛍光するが、可視光線の白色を照射しても蛍光しない

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%9B%8D%E5%85%89>

(3) 構造色 透明な薄膜・微細突起物による光の干渉



薄膜の干渉色



AとA'から入射した光が、それぞれ膜の表面と裏面で反射し、C点で干渉するものとする。膜内では光の速度は $c'=c/n$ と遅くなっていて、光が大気中で距離BC進むとき膜内ではB'C'だけ進む($\because BC/n=BC\sin\theta/\sin\phi=(BC/\sin\phi)\sin\theta=(B'C)\sin\theta=B'C'$)。したがって、2つの光の経路差は膜内で $C'D+DC=C'E=2d\cos\theta$ となる。これに屈折率 n を掛けて、大気中の経路差に換算する。

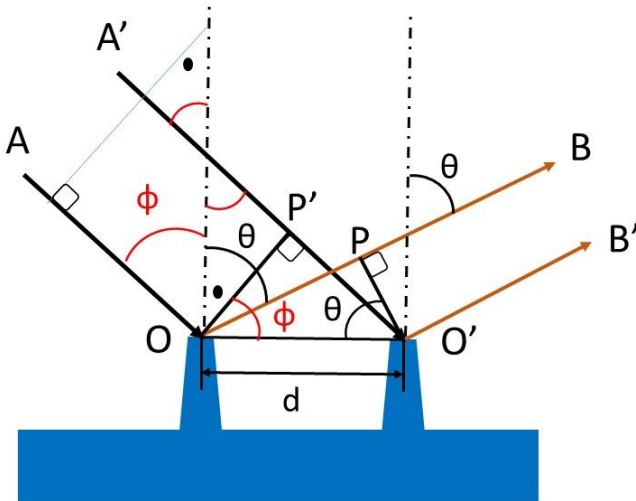
Aから膜に当たった光の位相はC点で半波長ずれることを考慮すると、結局、次の条件で2つの光は強め合うことになる。

$$2d\cos\theta=(m+1/2)\lambda/n$$

$$(m=0, 1, 2, \dots)$$

膜厚 d が同じでも、見る角度が変わると、色(波長)が変わる。膜厚 d が場所によって変わると、見る角度が同じでもさまざまな色が見える。

等しい間隔で並んでいる微細突起物(反射型回折格子)に白色光が当たると、光の干渉が起こって見る角度により色が変わる



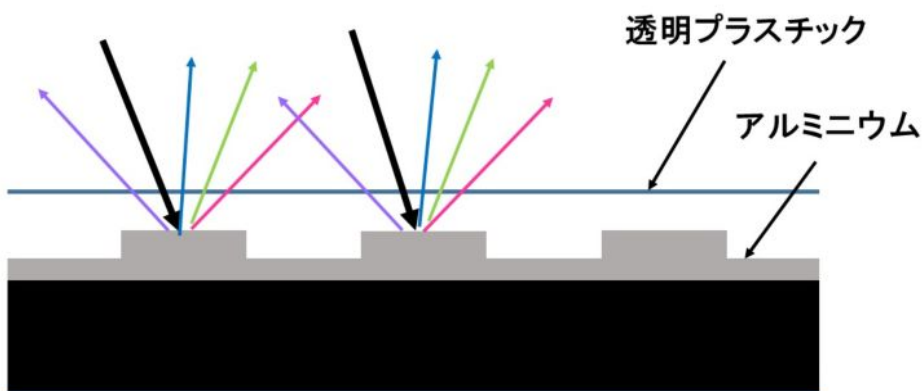
AOBとA'O'B'の光路差
OP-P'O'が波長の整数
倍になるような光は強
め合う。図より、

$$d(\sin\theta - \sin\phi) = m\lambda$$

$$m = 1, 2, \dots$$

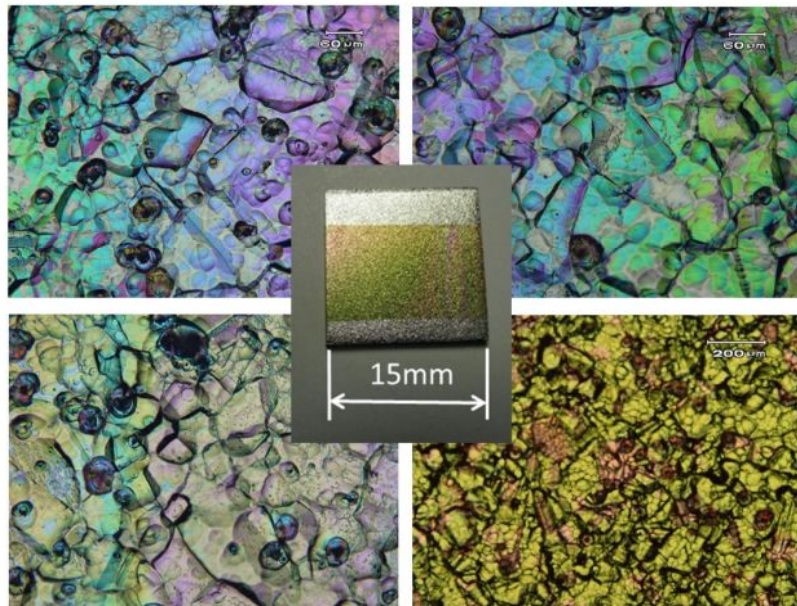
ϕ が一定のとき、波長
の短い青い光は見る
角度 θ が小さいところに、
赤い光は θ が大きいと
ころに現れる

CD: 膜による光の干渉と突起物(回折格子)による
光の干渉の両方により色彩が現れる



CD 表面に現れる干渉色については、最後の部分の URL を参照してください(その他、インターネットに多数の説明あり)

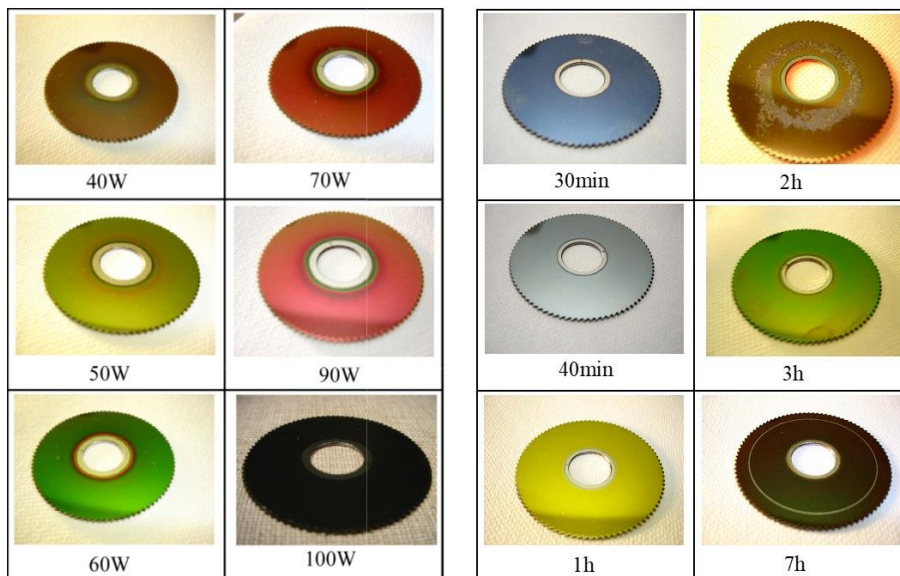
深みのある色彩をもつ表面はできないか→ 純金属のスパッタエッチング(結晶粒単位の凹凸付与) → 透明薄膜コーティング



注：失敗作でした。暇をみて再挑戦の予定です。

カラー膜

スパッタ法で作製したSiCアモルファス薄膜の色

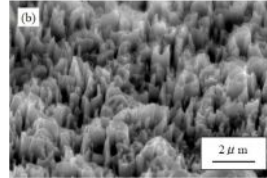
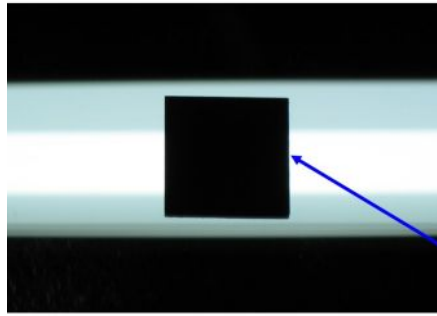


注：もともとは、スパッタ薄膜の摩擦係数を測定するための試験片として作製しました。しかし、数年後から色が次第に褪せ始め、20年を経過した現在では透明に近くなっています。アモルファス膜ですので不安定で、構造の変化が起こったと思われます。膜厚は変化していないので、発色の原因は干渉ではなかったことになりませんが、原因は不明です。

微細構造を用いて黒色をつくる → 可視光をほぼ完全に吸収する突起物は黒い

→ 黒色ペイント（電子遷移による吸収）とは異なる吸収機構

黒色



SKH51

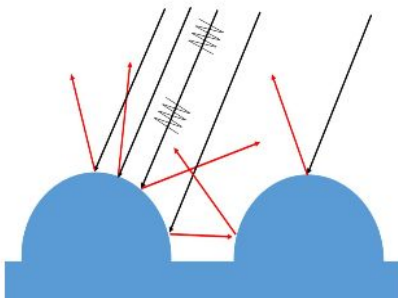
光の波長(400~800nm)と突起物の寸法が同程度

蛍光灯からの可視光線を99.6%吸収

試験片を鏡の上に置き、上から蛍光灯で照らして撮影

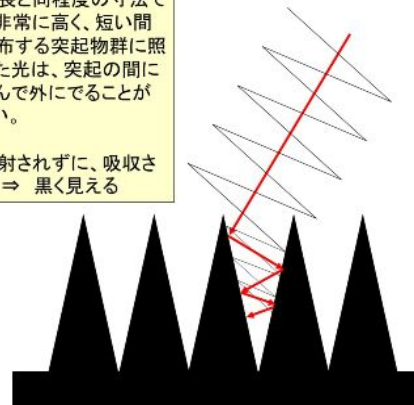
微細で高さが高い突起があると、なぜ光を吸収するか？

光の波長よりも大きくて間隔の広い突起は、光を反射する。乱反射



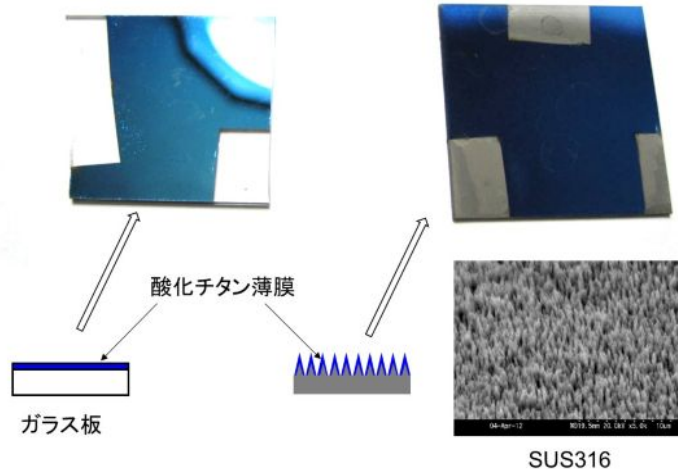
光の波長と同程度の寸法で高さが非常に高く、短い間隔で分布する突起物群に照射された光は、突起の間に潜り込んで外にできない。

光は反射されずに、吸収される。⇒ 黒く見える

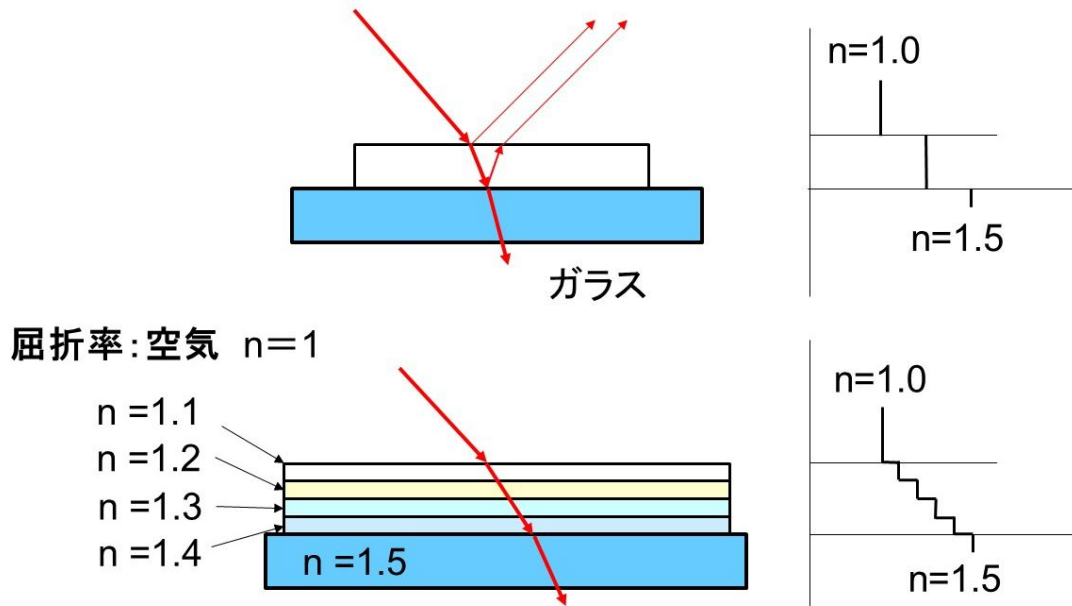


青色

透明な薄膜の干渉による発色(微細突起物の上にコーティングすると、下地からの反射が減って色に深みが出る: ピロード風)

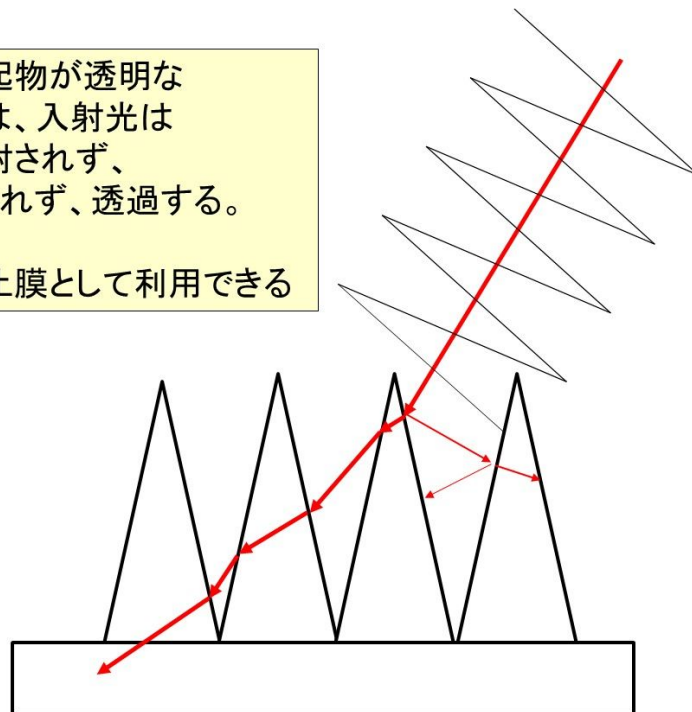


もう一つの光吸収機構：屈折率が近い透明多層膜による光の吸収



屈折率が細かく変わるようにすれば、境界面からの反射が少なくなる。屈折率が連続的に変わるような膜があれば、反射は起こらない → レンズの反射防止

微細突起物が透明な場合には、入射光は外へ反射されず、吸収もされず、透過する。
 反射防止膜として利用できる



同じ透明な材料と空気の組み合わせでも、円錐状の微細突起物は、少しずつ屈折率が変わる多層膜と同じ効果をもつ（反射防止）

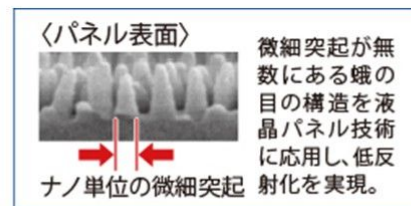
「4原色(注1)技術」の色鮮やかさが活きる、低反射・高コントラスト「モスアイ®パネル(注2)」採用

•(注1)4原色とはシャープ独自のディスプレイ上の色再現の仕組みであり、色や光の3原色とは異なります。

光が反射しにくい蛾の目の構造を研究して生まれた「モスアイ®パネル(注2)」を液晶テレビの表面に採用。部屋の照明など外光の反射が大幅に抑えられ、映り込みが少なく、自然で見やすい映像を実現します。また従来の光を拡散させる低反射方式とは異なり、映像の発色がストレートに映し出されるので「4原色(注1)技術」の高い色表現力を活かし、コントラストのきいたクッキリ鮮明な映像を実現します。



一般的な低反射パネル モスアイ®パネル(注2)
(当社比。写真はイメージです)



(注2)モスアイ®は、大日本印刷株式会社の商標又は登録商標です。

<http://www.sharp.co.jp/aquos/lineup/xl9/80x9/picture.html#>

以下も、構造色の例です。クジャクやカワセミの羽も構造色とされています。

玉虫：金属ではないのに金属色を出す理由は？



タマムシ

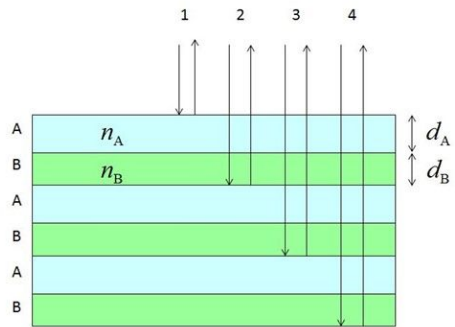
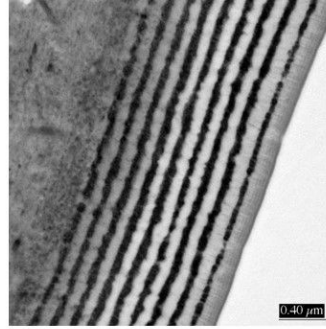


アオマダラタマムシ



私が子供の頃に捕まえたものか、甥が捕まえたものか分かりませんが、父が保管していたものを実家を片付けていて見つけました。少なくとも、30年以上前の色彩が保持されています。

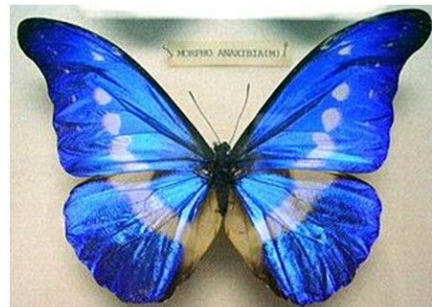
このタマムシは2020年ころに知人が、アオマダラタマムシは私が裏山で見つけました(いずれも東広島市で)。



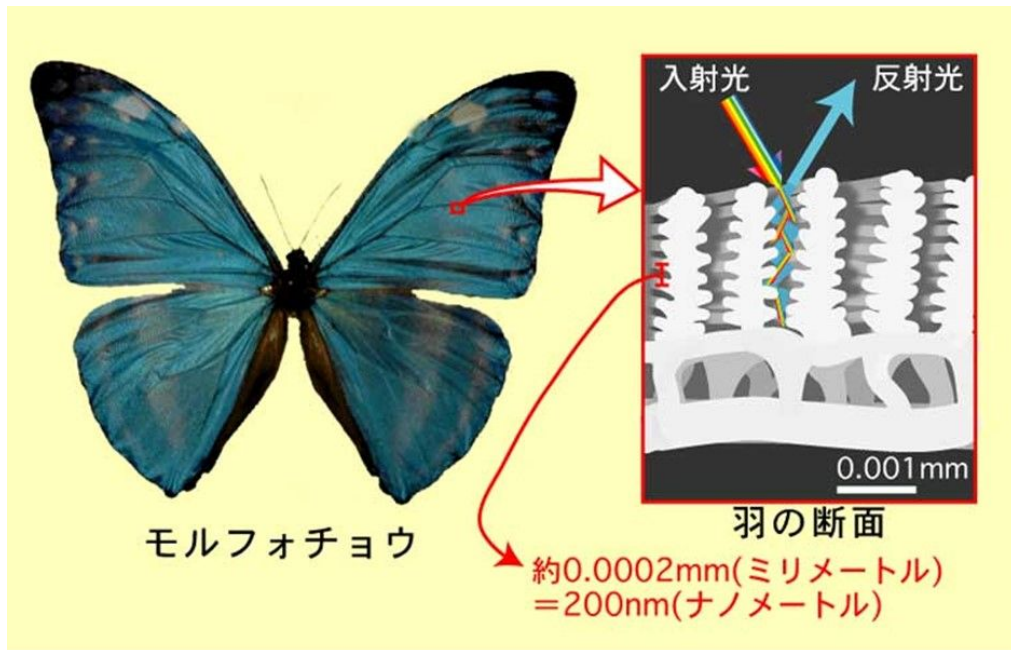
間隔と屈折率の異なる2つの層が繰り返し重なっている → 界面から反射した光の干渉： 詳細は下記のURLを参照

<https://ameblo.jp/kozoshoku/entry-12543597557.html>

モルフォ蝶： 反射の少ない複雑な色



<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A2%E3%83%AB%E3%83%95%E3%82%A9%E3%83%81%E3%83%A7%E3%82%A6%E5%B1%9E>



<https://www.i-kahaku.jp/magazine/backnumber/54/03.html>

モルフォテックス



Morphotex

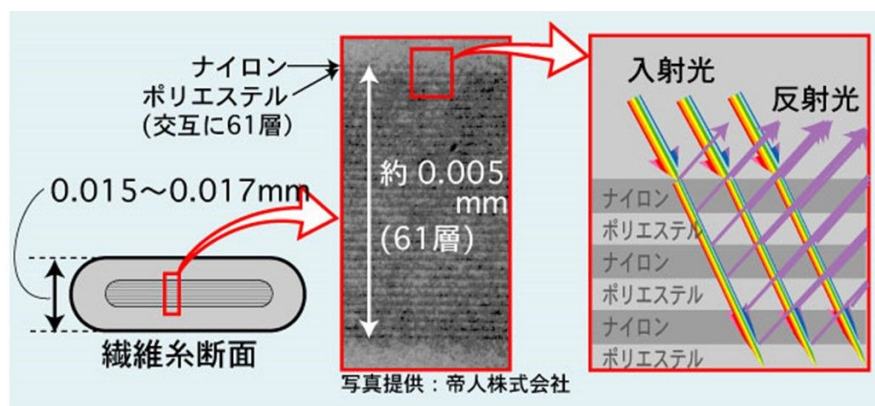
夏の季節は、Donna Sgro氏がデザインしたモルフォテックス素材の衣服が快適に過ごせるでしょう。モルフォテックスはナノテクノロジーを使用して開発されたファイバーです。それはモルフォ蝶の微視的な翼の造りのように、多面的に色を反射します。技術的に層を交互に織り込む際にポリエステルとナイロンの61種類のファイバーを使用しています。モルフォテックスは染料や色素を使用していないので、産業廃棄物となるものはほとんど出ず、プロセスに使用するエネルギーも少なく済みます。

<http://www.ecofriend.com/ja/1320.html>

テイジンが、2003年に量産を開始
 一層の厚みが69 nmのポリエステルとナイロンを交互に61層積み重ねた構造



卒業生のT君(帝人関連企業勤務)からのプレゼント



繊維の発色原理

直径は、0.015~0.017mmの繊維糸の中心に、屈折率の異なるナイロンとポリエステルを交互に61層重ねた積層があります。積層の厚みは、約0.005mm。1層の厚みは、70nm~90nm(ナノメートル)で、反射させたい色の波長に層の厚みが微調整されています。現在は、赤、緑、青、紫の4色が生産されています。

玉虫やモルフォ蝶のような複雑な色を再現するのは無理ですが、スパッタエッチングによってできた突起物・孔と、スパッタ膜を組み合わせ、これまでにない色彩をもつ表面を作り出すことができたらと思っています。

修正履歴 2012/ 4/ 22 , 2013/2/28 , 2013/12/3 , 2014/4/28 , 2022/1

参 考 文 献

- ・菅井 秀郎 編著：プラズマエレクトロニクス，オーム社，2000
- ・辻井 薫 著：「超撥水と超親水」 その仕組みと応用 ，米田出版，2009
- ・諸貫信行 編著：微細構造から考える表面機能，森北出版，2111
- ・表面処理によるカラーリング，「表面技術」小特集，Vol.61，No.11（2010）
- ・加飾用表面処理，「表面技術」小特集，Vol.67，No.5（2016）
- ・Biomimetics in Photonics, Ed. by Olaf Karthaus, CRC Press, New York, 2013
- ・バイオミメティクスと表面技術，「表面技術」小特集，Vol.64，No.1（2013）
- ・撥水性と表面処理，「表面技術」小特集，Vol.60，No.1（2009）
- ・はっ水・はっ油・親水・親油表面処理，「表面技術」小特集，Vol.67，No.9（2016）

本文記載以外の参考 URL

[構造色とは | テクノシナジー \(techno-synergy.co.jp\)](http://techno-synergy.co.jp)

CD について

[dvd-bit.png \(700x700\) \(optipedia.info\)](http://optipedia.info)

[\[実験\]センターにも出た CD の虹色の順番を確認してみよう！ | 科学のネタ帳 \(phys-edu.net\)](http://phys-edu.net)

[CD や DVD がなぜ虹色に光るのか？のブログ | CD プレス・DVD プレスなら大阪のディスクファクトリー【全国対応】 \(discfactory.info\)](http://discfactory.info)