



東大付属中高 高2物理 I レクチャー

暮らしのなかの物理：
光を知って光を使う2

佐藤勝昭

工学博士 東京農工大学名誉教授



第1回の復習

- 光の波長と色について学びました。
- 白熱灯、蛍光灯、白色LEDの光をだすしくみの違いについて学びました。
- スペクトルの違いを直視分光器を使って観察しました。



今回学ぶこと

- 発表：
 - 第1回の講義や実験を通じてわかったこと、もっと知りたいことを各班の代表に発表してもらいます。
- 講義：
 1. さまざまな光ディスクの原理を知ろう。
 2. 液晶ディスプレイの原理を知ろう。
- 実験（各班で選んで下さい）
 - 偏光、光センサ、太陽電池



講義資料1

さまざまな光ディスクとその原理



光ディスクのポイント

- 読み出しは、レーザー光を絞ったときに回折限界で決まるスポットサイズで制限されるため、波長が短いほど高密度に記録される。
- 光ストレージには、読み出し(再生)専用のもの、1度だけ書き込み(記録)できるもの、繰り返し記録・再生できるものの3種類がある。
- 記録には、さまざまな物理現象が使われている。



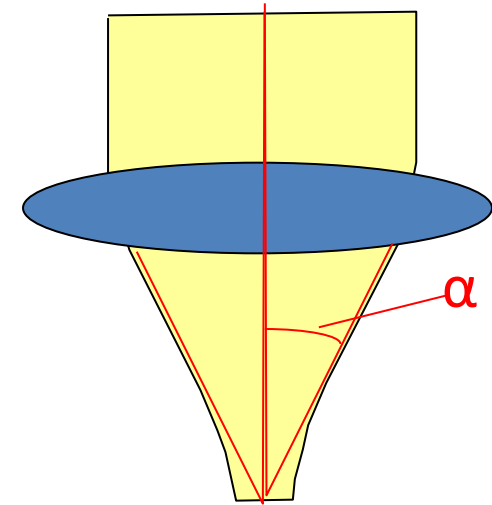
光記録の分類

- 光ディスク
 - 再生(読み出し)専用のもの
 - CD, CD-ROM, DVD-ROM
 - 記録(書き込み)可能なもの
 - 追記型(1回だけ記録できるもの)
 - CD-R, DVD-R
 - 書換型(繰り返し消去・記録できるもの)
 - 光相変化 CD-RW, DVD-RAM, DVD-RW, DVD+RW, BD
 - 光磁気: MO, GIGAMO, MD, Hi-MD, AS-MO, iD-Photo
- ホログラフィックメモリ、ホールバーニングメモリ



記録密度を決めるもの 光スポットサイズ

- $d=0.6\lambda/NA$
 - λ は光の波長
 - NA はレンズの開口数
 - $NA=n\sin\alpha$
- CD-ROM: $NA=0.6$
CD-ROM: $\lambda=780\text{nm}\rightarrow d=780\text{nm}$
DVD: $\lambda=650\text{nm}\rightarrow d=650\text{nm}$
BD: $NA=0.85$
 $\lambda=405\text{nm}\rightarrow d=285\text{nm}$



スポット径 d



光記録に利用する物理・化学現象

- CD=compact disk, DVD=digital versatile disk, BD=bluray disk
- CD-ROM, DVD-ROM: ROM=read only memory
 - ピット形成
- CD-R, DVD-R: R=recordable
 - 有機色素の化学変化と基板の熱変形
- CD-RW, DVD-RW, BDR: RW=rewritable
 - アモルファスと結晶の相変化
- MO, MD, GIGAMO, AS-MO, iD-Photo:
 - 強磁性・常磁性相転移
- ホログラフィックメモリ: フォトリフラクティブ効果
- ホールバーニングメモリ: 不均一吸収帯

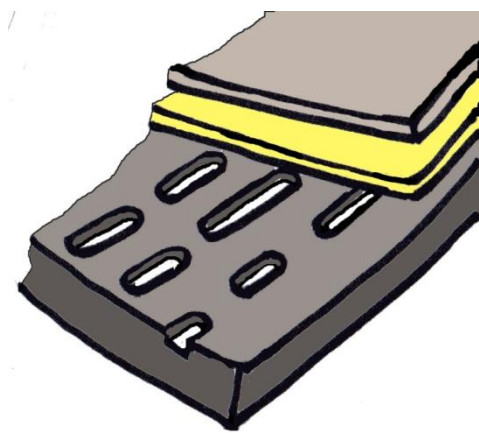
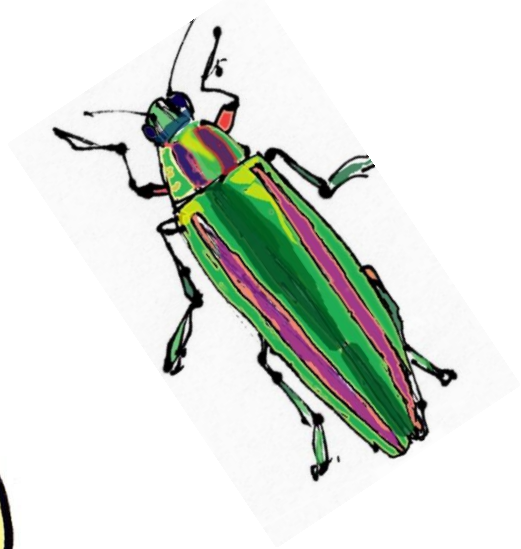
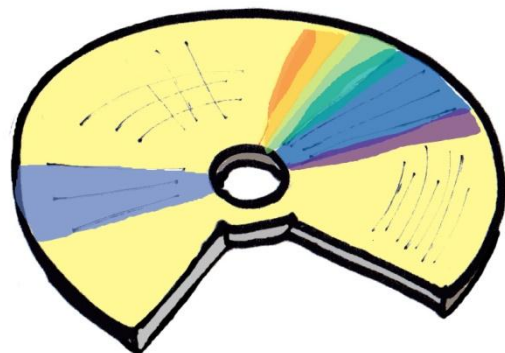
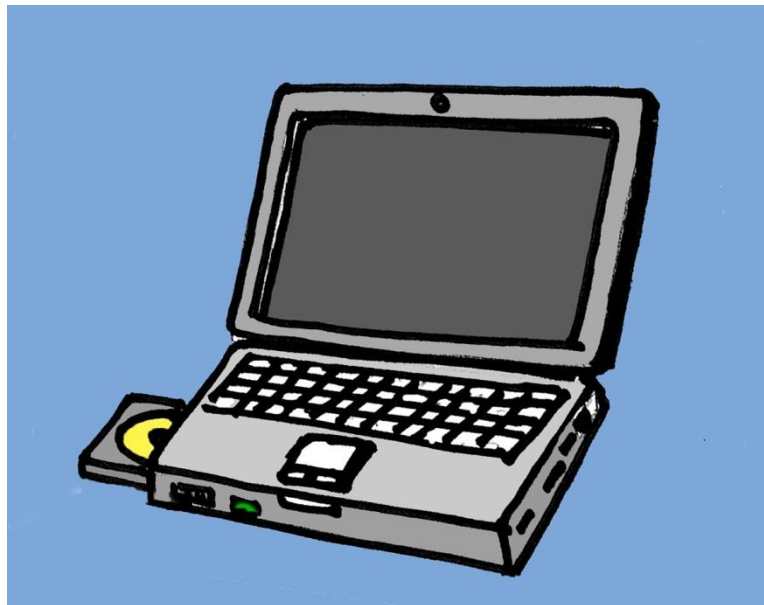


光ディスクの特徴

- リムーバブル(とりはずして持ち運べる)
- 大容量・高密度
 - BD 100Gb/in²:ハードディスク(500Gbit/in²)に及ばない
 - 超解像、短波長、近接場を利用してもっと高密度にへ
- ランダムアクセス
 - 磁気テープに比し圧倒的に有利;
カセットテープ→MD, VTR→DVD
 - ハードディスクに比べるとシーク時間が長い
- 高信頼性
 - ハードディスクに比し、ヘッドの浮上量が大きい



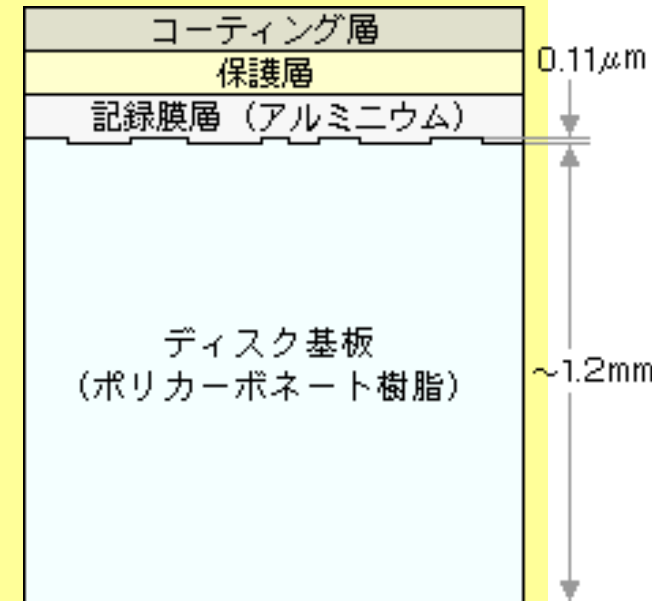
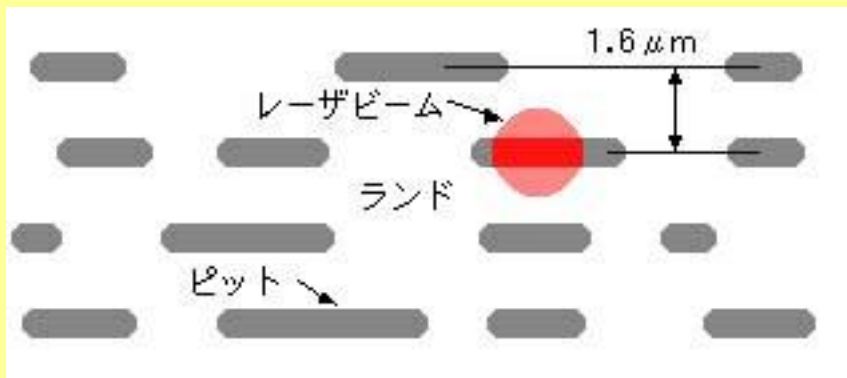
CD-ROM





CD-ROM: 光の干渉を利用

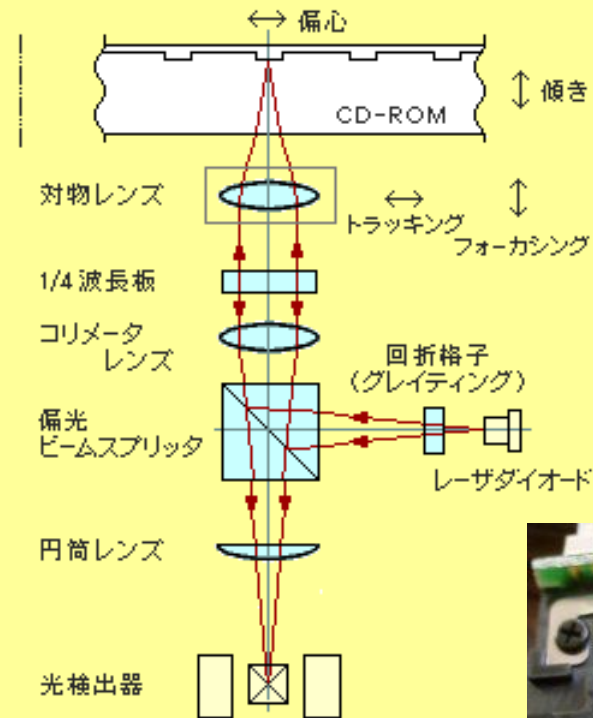
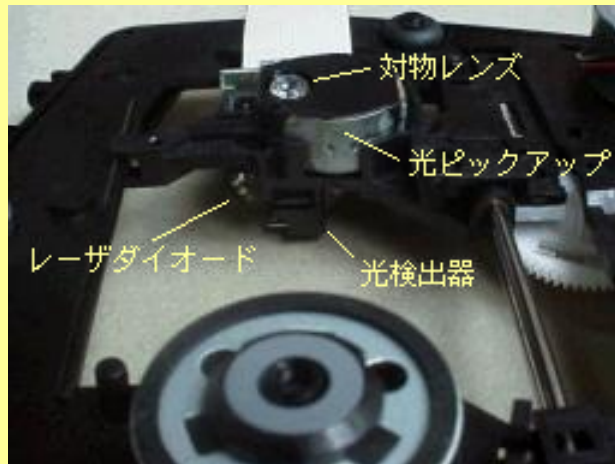
- ポリカーボネート基板: $n=1.55$
- $\lambda=780\text{nm} \rightarrow$ 基板中の波長 $\lambda'=503\text{nm}$
- ピットの深さ: $110\text{nm} \sim \frac{1}{4}$ 波長
- 反射光の位相差 π : 打ち消し





CD-ROMドライブ

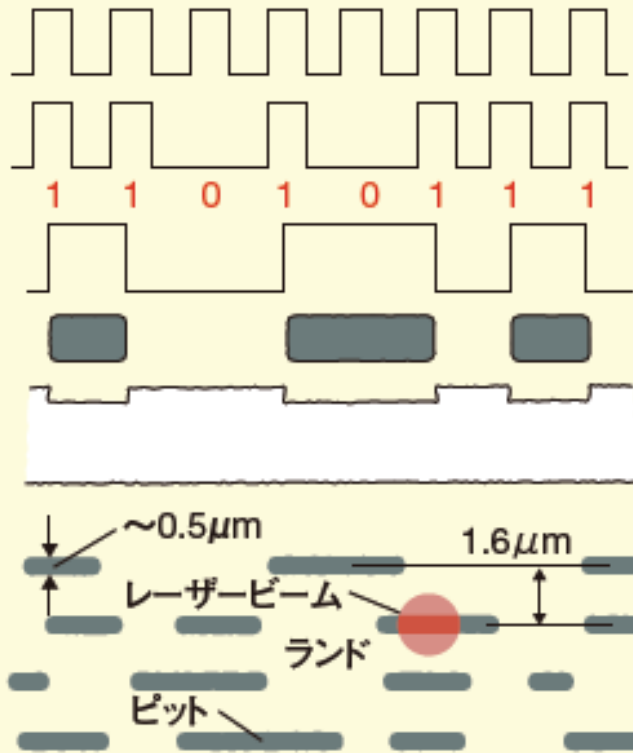
- フォーカスサーボ
- トラッキングサーボ
- 光ピックアップ





CDはどうやって情報を読み出すのか？

図 CDの読み出し原理



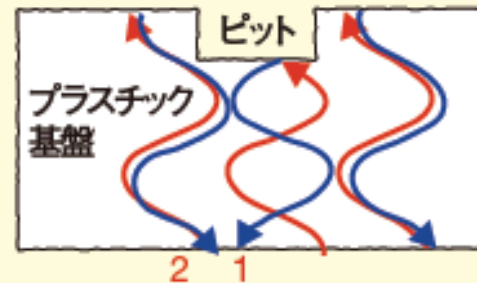
a クロックパルス

b デジタル信号

c NRZ信号

d ピット列

e ピットをつけた
プラスチック基盤



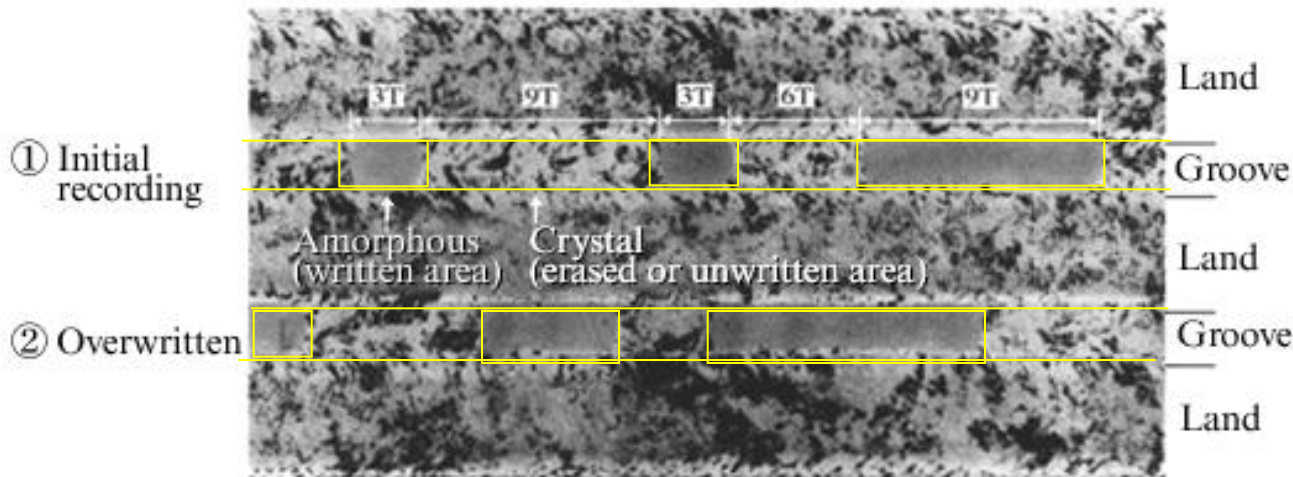
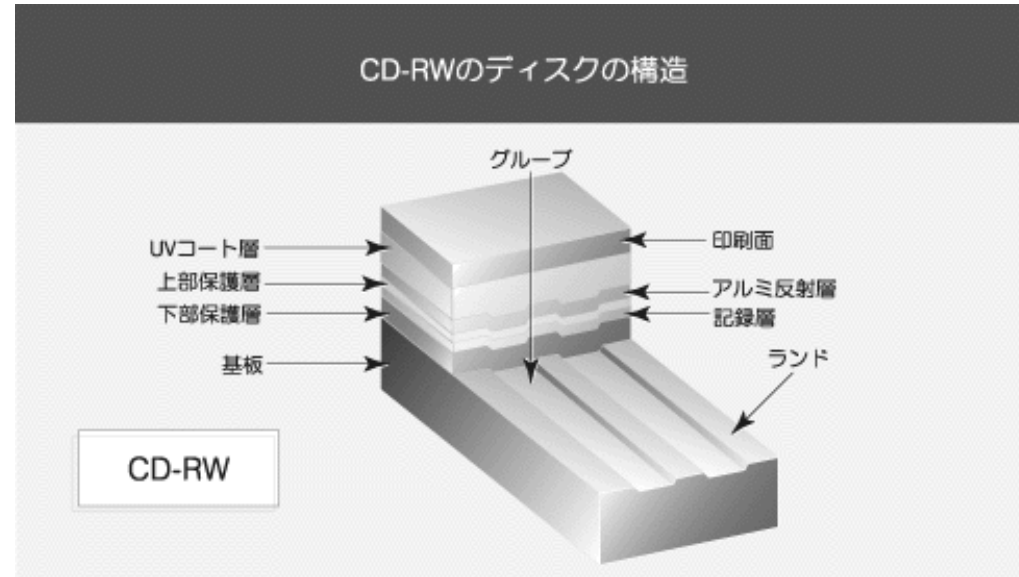
f レーザスポットの直径は
ピットの横幅より大きい

f ピットからの反射光と
平坦部からの反射光とは
打ち消す



CD-RW

- 光相変化ディスク
- 結晶とアモルファスの間の相変化を利用





光相変化記録

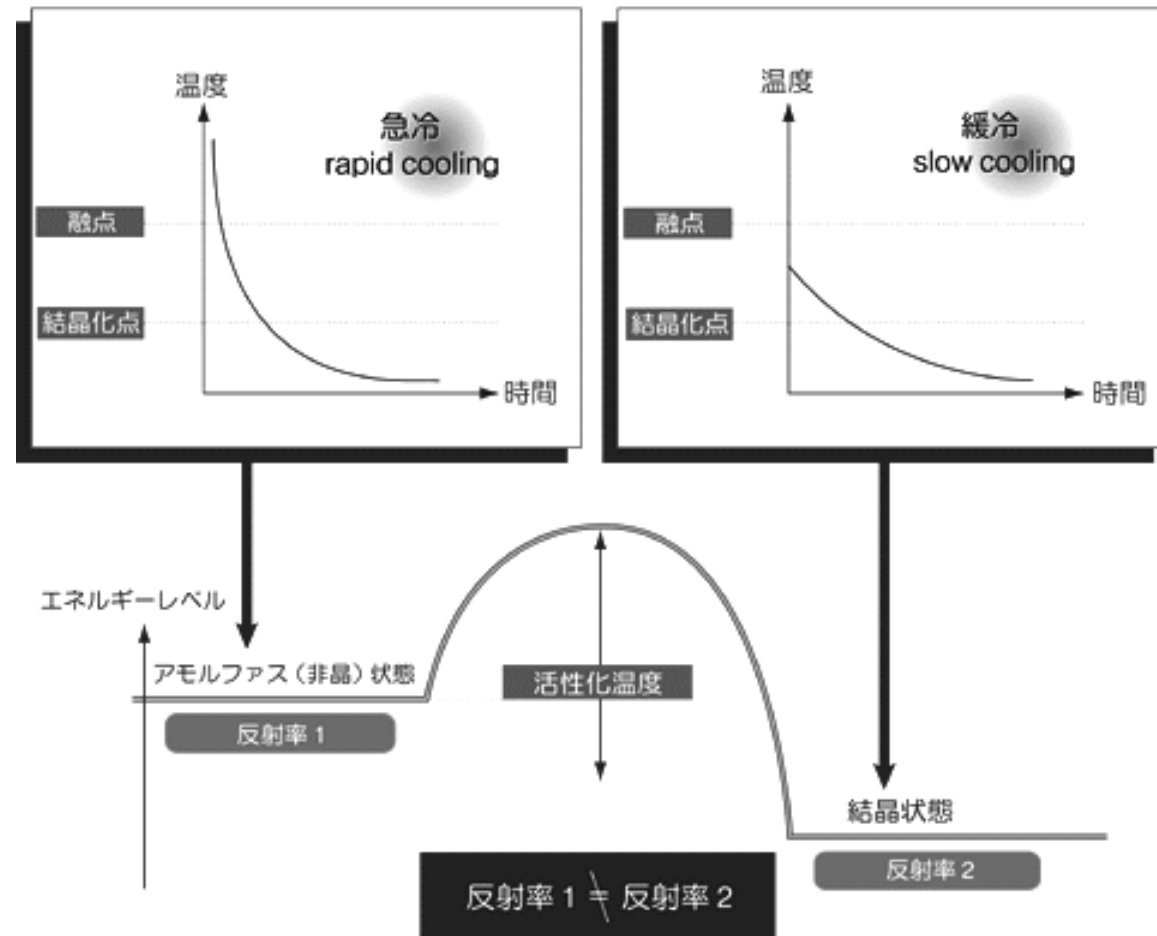
- アモルファス/結晶の相変化を利用
- **書換可能型** 成膜初期状態のアモルファスを熱処理により結晶状態に初期化しておきレーザー光照射により融点 T_m (600°C)以上に加熱後急冷させアモルファスとして記録。消去は結晶化温度 T_{cr} (400°C)以下の加熱緩冷して結晶化。
 - Highレベル: T_m 以上に加熱→急冷→アモルファス
 - Lowレベル: T_{cr} 以上に加熱→緩冷→結晶化DVD-RAM: GeSbTe系
DVD±RW: Ag-InSbTe系



相変化ディスクの記録と消去

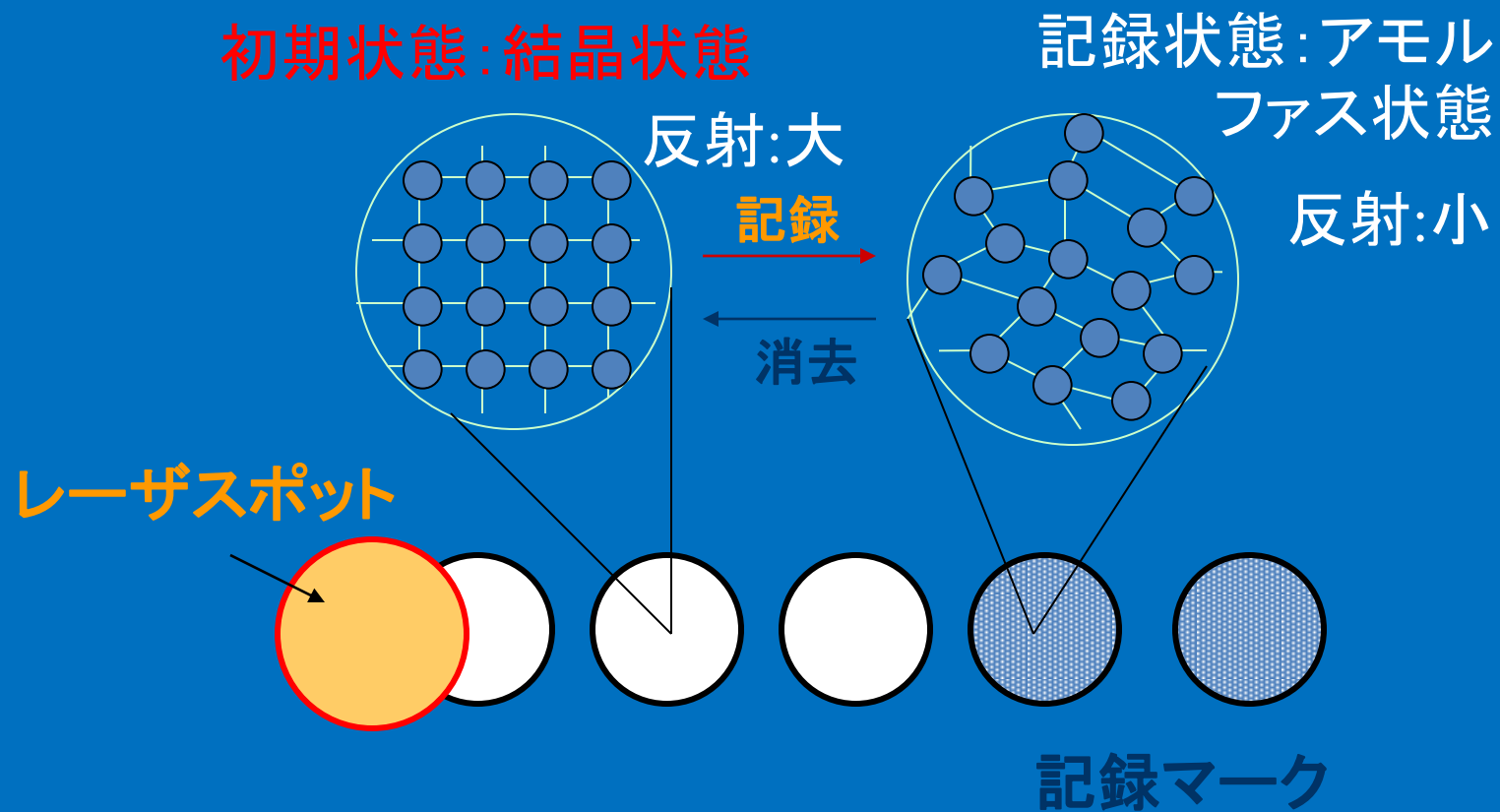
- 融点以上から急冷：
アモルファス
→低反射率
- 融点以下、結晶化
温度以上で徐冷：
結晶化
→高反射率

相変化記録の原理





相変化と反射率





アモルファスとはなにか

- Amorphous aは否定の接頭辞morphは形
 - 非晶質と訳される
 - 近距離秩序はあるが、結晶のような長距離秩序がない
 - 液体の原子配列が凍結した状態に近い
 - 液体の急冷により生じる準安定な状態
 - 金属合金系、カルコゲナイドガラス系、テトラヘドラル系、酸化物ガラス系などがある
 - 金属合金系の場合DRPHS (dense random packing of hard spheres)モデルで説明できる



アモルファスの特徴

- 結晶ではないので結晶粒界がなく連続
 - 大面積を均一に作れる。
 - 光の散乱が少ない
- 結晶と違って整数比でない広範な組成比が実現：
特性を最適化しやすい
- 低温成膜可能なので、プラスチック基板でもOK



CD-R: 有機色素の利用



- 有機色素を用いた光記録
- 光による熱で色素が分解
- 気体の圧力により加熱された基板が変形
- ピットとして働く

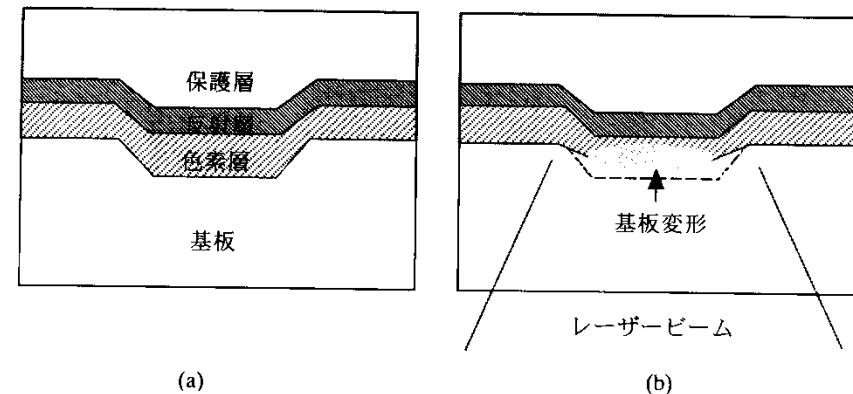
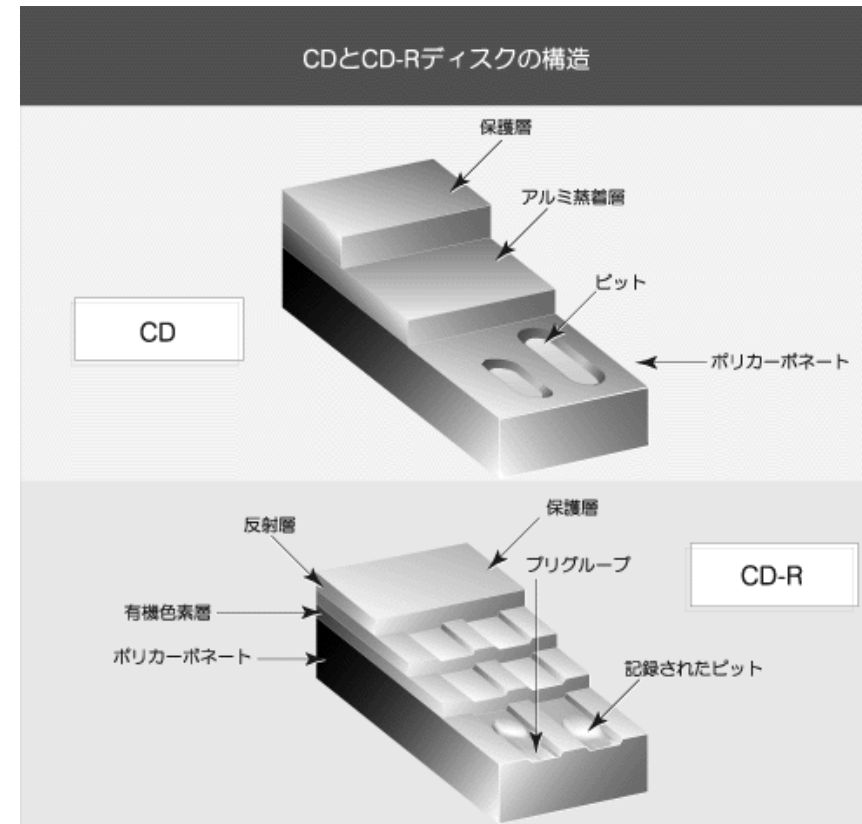


図1 未記録状態(a)、記録状態(b)を示す模式図



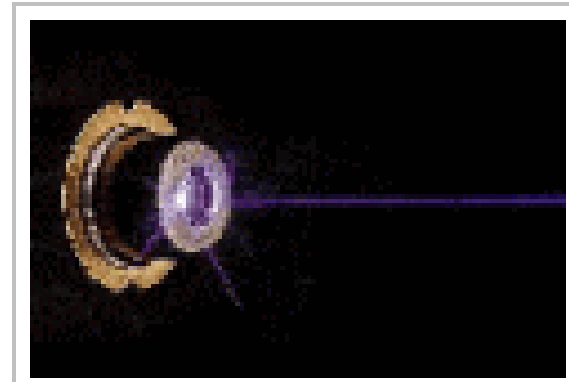
DVDファミリー

	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM	DVD-RW	DVD+RW
容量(GB)	4.7 / 9.4 2層8.54	3.95 / 7.9	4.7 / 9.4	4.7/9.4	4.7/9.4
形状	disk	disk	cartridge	disk	disk
マーク形成 材 料	ピット形成 1層 R=45-85 2層 R=18-30	熱変形型 有機色素 R=45-85%	相変化型 GeSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%
レーザー波長 レンズNA	650/635 0.6	650/635 0.6	650 0.6	638/650 0.6	650 0.65
最短マーク長	1層:0.4 2層:0.44	0.4	0.41-0.43	0.4	0.4
トラック幅	0.74	0.8 Wobbled Land pre-bit	0.74 Wobbled L/G	0.74 Wobbled Land pre-bit	0.74 HF Wobbled groove
書き換え可能 回数	—	—	10 ⁵	10 ³ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁴



BDはなぜ高密度化

- 我が国で開発された青紫色レーザーは、最近になって複数の会社から安定供給できるようになり、これを用いた光ディスクが登場した。
- 光ディスクの面密度は原理的に $1/d^2$ で決まるので、波長が従来の650nmから405nmに変わることにより、原理的に2.6倍の高密度化が可能になった。
- NAの大きなレンズを使用しているので絞り込める。
BD:0.85 DVD: 0.65
- 記録層が表面から0.1mmと浅い。
DVDでは表面から0.6mmと深い





BDの規格

規格	
容量(片面1層)	23.3/25/27 GB
容量(片面2層)	46.6/50/54 GB
転送速度	36Mbps
ディスク厚み 記録層	1.2mm 保護層0.1mm 記録層1.1 μ m
レーザー波長	405nm
レンズ開口数	0.85
トラックピッチ	0.32 μ m
トラック構造	グループ
映像圧縮方式	MPEG-2 Video

講義資料2

液晶ディスプレイ



液晶ディスプレイ

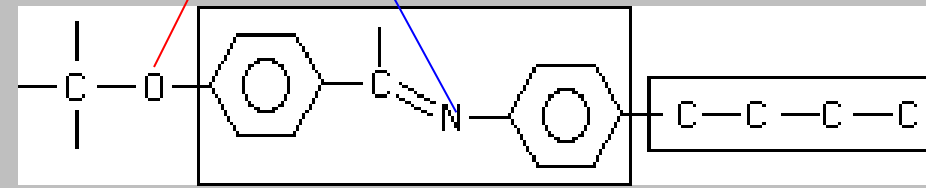
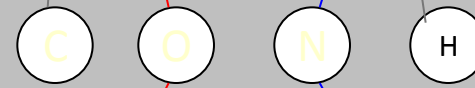
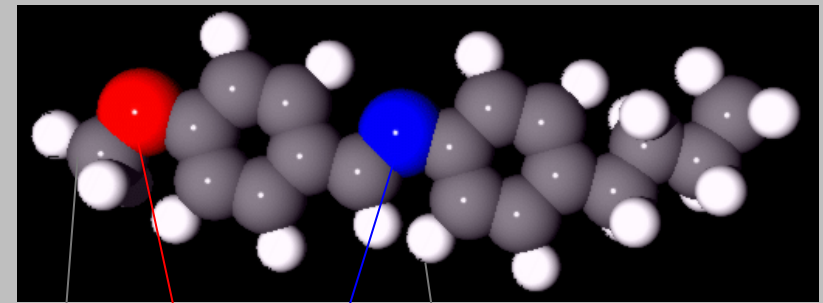
- 液晶を光スイッチとして使用
- 直交偏光板ではさんだ液晶内での偏光の伝搬
- 電界印加により液晶分子の配向を制御
- TFT(薄膜トランジスタで各画素のRGBを個別に選択制御): アモルファスSiから多結晶Siへ
- 利点: 薄型、省電力、高精細度、ちらつきがない
- 欠点: 視角依存性、バックライト必要、大画面に問題



液晶

●液晶は、液体と固体の中間的物質

- 1888年：液晶を発見：ライニツァー(オーストリアの植物学者)
- 「液晶」とは、固体と液体の間にある物質の状態(イカの墨や石鹼水など)を指す。
- 液晶の理学は1968年頃、フランスの物理学者de Gennesによって確立された。



www.chem.wisc.edu/



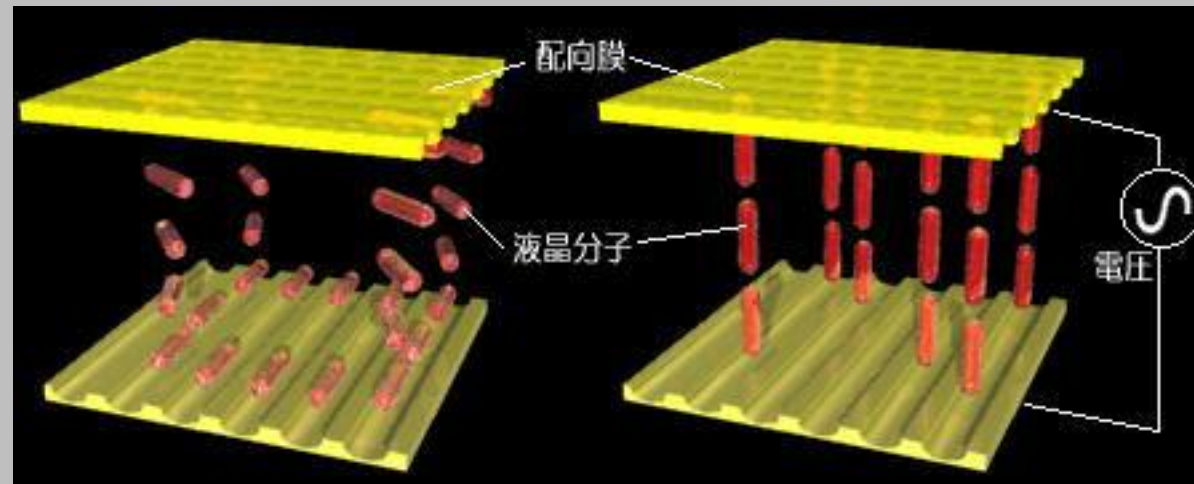
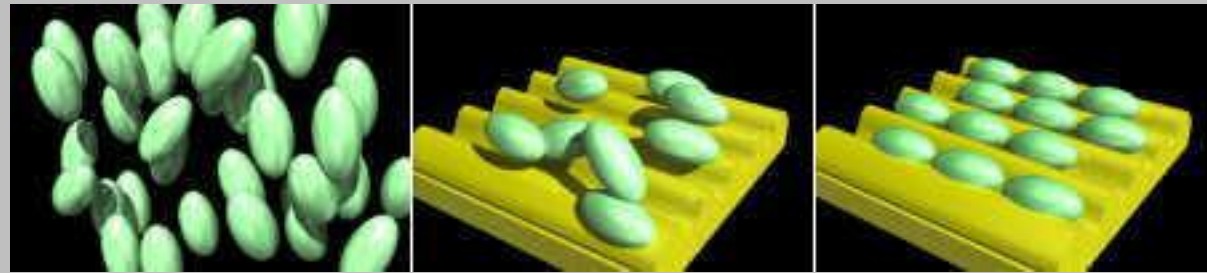
液晶のディスプレイへの応用

- ディスプレイへの応用：1963年ウィリアムズ(RCA社)、液晶に電氣的な刺激を与えると、光の透過が変わることを発見。
- 1968年：ハイルマイヤーら(RCA)、この性質を応用した表示装置を試作→液晶ディスプレイの始まり。
ディスプレイの材料としては不安定で商用として問題あり
- 1973年：シャープより電卓(EL-805)の表示として世界で初めてLCDを応用。
- 1976年：グレイ教授(英国ハル大学)が安定な液晶材料(ビフェニール系)を発見。



液晶分子の配向と電界制御

- 液晶分子の配向
 - 配向剤を塗布、ラビング。分子をラビング方向に配列
- 電界による配向制御(液晶分子は電気双極子)



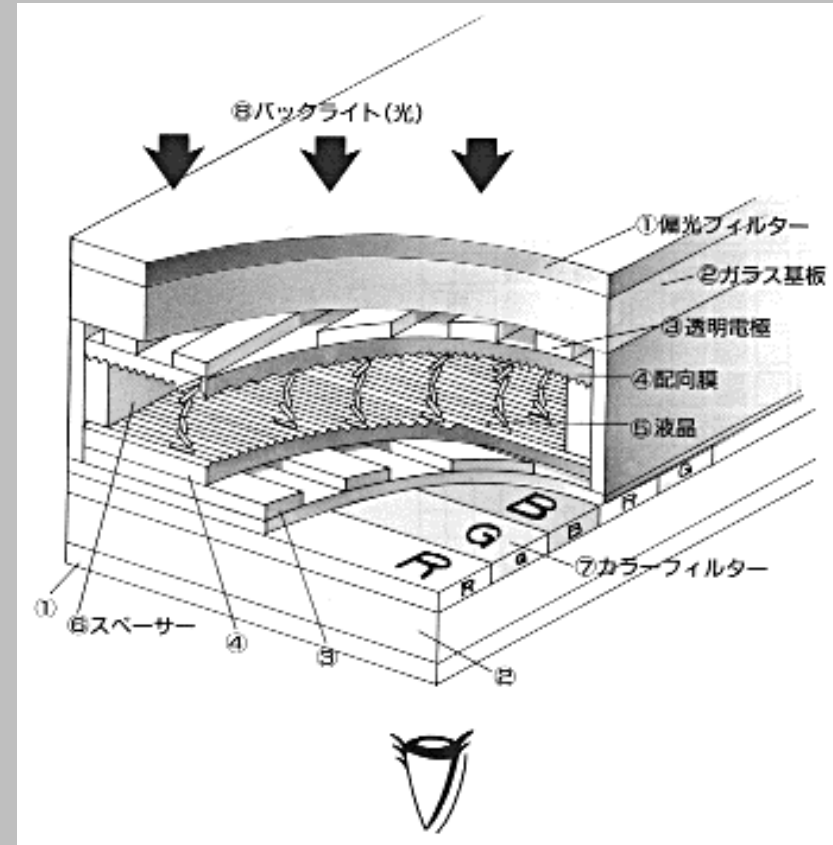
<http://www.nanoelectronics.jp/kaitai/lcd/index.htm>



液晶ディスプレイの構造

カラー液晶ディスプレイの構造は、構成要素が層状になっている。

- 1-偏光フィルター：偏光を選択する。
- 2-ガラス基板：電極部からの電気がほかの部分に漏れないようにする。
- 3-透明電極：液晶ディスプレイを駆動するための電極。表示の妨げにならないよう透明度の高い材料を使う。
- 4-配向膜：液晶の分子を一定方向に並べるための膜。
- 5-液晶：ネマティック液晶
- 6-スペーサー：液晶をはさむ2枚のガラス基板間のスペースを均一に確保。
- 7-カラーフィルター：白色光からR,G,Bを選択。

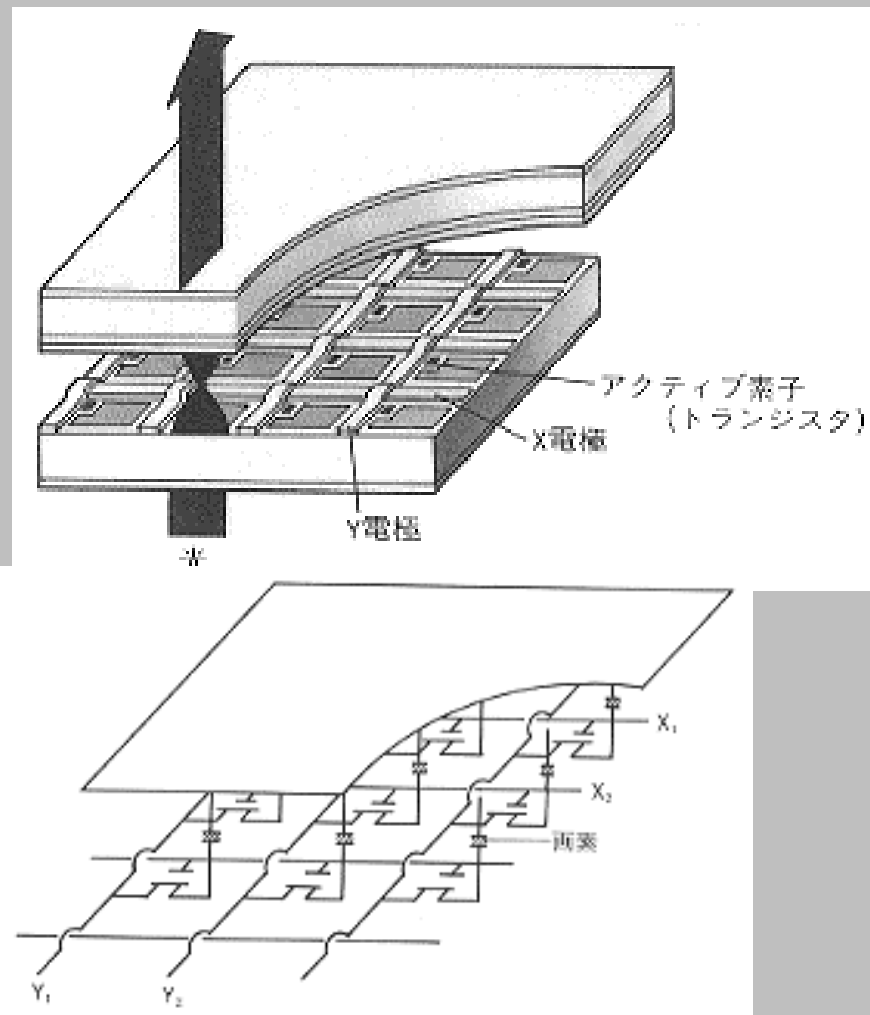


シャープのホームページより
http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_3.htm

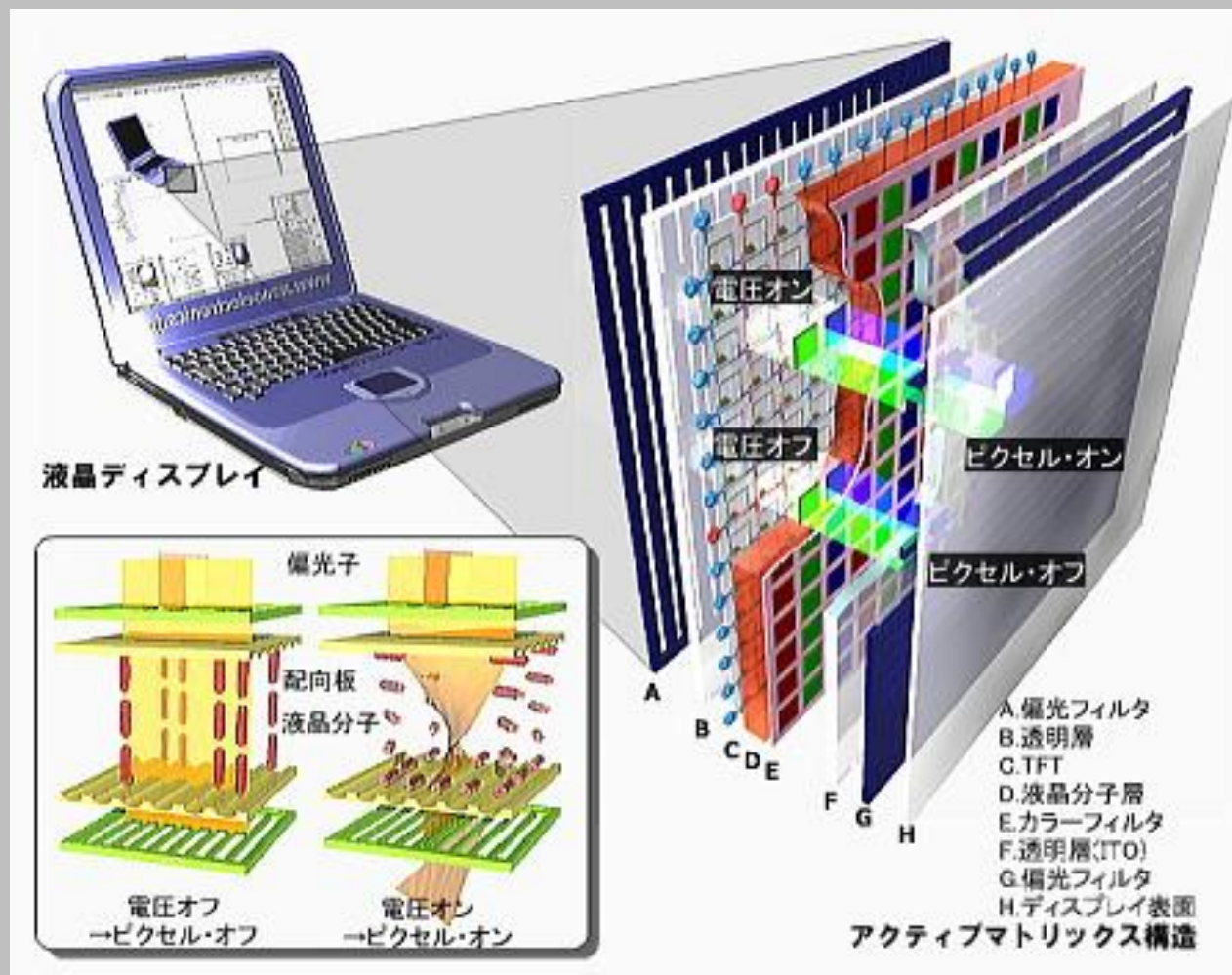


アクティブ・マトリックス

1. X電極が、各画素に付いたアクティブ素子をON/OFFする。
2. ON状態にあるアクティブ素子は、そのままの電圧を保ち、Y電極と通じることができる。
3. Y電極に電圧をかけ、ON状態にある目的の画素を点灯させる。



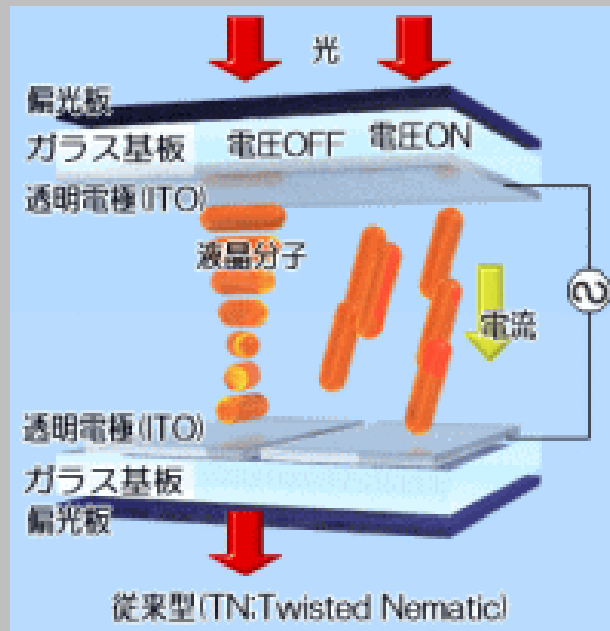
TFTアクティブマトリクスLCD



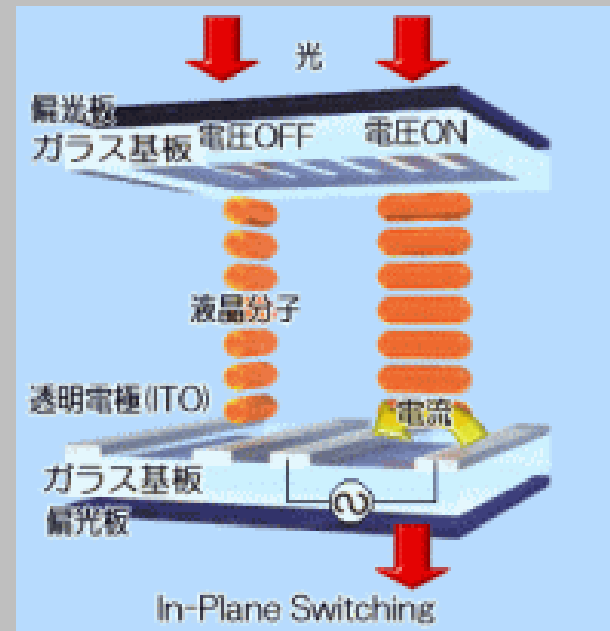
新しい液晶によるスイッチング

- IPS (in-plane switching)
面内でスイッチすることで視野角依存性を減らす

従来型



IPS型



おわりに

- 日本は資源がなく、ものづくりによって国を支えてきました。
- 科学技術の力がなければ、豊かな国民生活は保証できません。
- 科学技術がますますブラックボックス化して、中身が見えなくなっています。
- もっと科学技術に向き合って、ブラックボックスを開けて見る好奇心を持ってください。

