



小特集用語解説

前面照射型 CCD 検出器

(Front-Illuminated CCD Detector)

CCD (Charge Coupled Device) 検出器は光電変換部と電荷転送部からなる画素が半導体基盤上に規則正しく並べられた二次元画像センサである。光の入射により発生し光電変換部に蓄積された電荷は、外部より印加された周期的電圧パルスによりバケツリレー式に順次隣の画素へ転送され、シリアルな画像信号として読み出される。一般に使われている CCD 検出器は表面電極側より入射した光により信号を得ており、これを前面照射型 CCD 検出器と呼ぶ。市販の可視光用 CCD 検出器はさらにカラーフィルタや保護窓が付いており、画素サイズも数 μm であるが、X 線用の CCD 検出器にはこれらはなく、また光子エネルギーが桁違いに大きいため、ダイナミックレンジを増すために(蓄えられる電荷量を確保するために)画素サイズは 20-25 μm あたりが一般的である。表面電極による吸収のため、1 keV 以下の軟 X 線や極紫外線には感度がないので、これらの光には背面照射型 CCD 検出器が使用される。(阪大レーザー研 西村博明)

背面照射型 CCD 検出器

(Back-Illuminated CCD Detector)

通常 CCD 検出器は電極側から光を入射するように設計されている(前面照射型 CCD 検出器)が、背面照射型 CCD 検出器は電極とは反対側の CCD 裏面から光を入射して検出できるようにしたものを目指す。背面照射型にすると電極が存在しないため原理的には CCD に入射した光をすべて素子内に取り込むことが可能となり、検出効率が大きく向上する。CCD 検出器は主に電極、空乏層およびシリコン基盤から構成されている。シリコン基盤中では電場が存在しないためそこで生成された電荷は比較的自由に基盤内を拡散することとなる。背面照射型 CCD 検出器では、裏面から光を入射しても電場の存在する空乏層で電荷が生成されるようシリコン基盤を削り取ってある。そのため一般に検出器自身は非常に薄くなっており(10-20 μm 程度)、エネルギーの高い X 線を計測する場合には透過が問題となる。検出器表面は通常反射防止のため AR コーティングが施されている。

(核融合研 森田 繁)

ディグダグ型 CCD 検出器 (DigDag CCD Detector)

通常、CCD 検出器は内部クロックに同期して、逐次電荷を読みだし用のシリアルレジスタに向かって送り、さらにシリアルレジスタに入った電荷を出力アンプに向かってシフト

する。電荷量に比例した電気信号を取り出すことによって、画像を得ることができる。電荷井戸のゲートにかかる電圧の位相を変えると、電荷移動の方向を逆転することができる、すなわちシリアルレジスタとは反対の方向に電荷を送ることが可能となる。外部パルスに同期して、CCD 検出器素子内の電荷をシリアルレジスタに向う方向(順シフト)または逆の方向(逆シフト)に移動させることのできる特殊な CCD をディグダグ型 CCD 検出器という。時間的な ON/OFF の変調(モジュレーション)がかかった画像を、このディグダグ型 CCD 検出器で同期させて計測すると、ON の状態の画像と OFF の状態の画像を同一の CCD 検出器の異なった領域に取り込むことができる。(核融合研 居田克巳)

高速 CCD カメラ (Fast-Framing CCD Camera)

CCD カメラによる「コマ撮り」撮影の高速化は、高速に時間発展する現象の詳細な研究に不可欠であり、露光時間の短縮化と CCD 検出器素子内での映像データの高速移動や高速読み出しによって可能となる。高速ゲート露光により撮影速度 4 万コマ/秒で 4 万コマの画像が得られる CCD カメラが商品化されている。複数台の CCD カメラを順次動作させて高速撮影を行う方式もあるが相当高価である。また、高度な方法として、映像データを CCD チップ内のメモリ領域に高速で移動させる方式では 100 万コマ/秒相当の高速撮影が可能でカメラが試作されている。ただし、1 回の撮影で得られるコマ数(画像数)は 32 に限られている。このような CCD カメラによるプラズマの高速撮影では、露光時間が極めて短くなり被写体からの発光量が十分高いという条件が満たされていることが必須条件である。したがって、微弱光の撮影では撮影速度は十分な光量が得られる露光時間で規定されることになる。(核融合研 東井和夫)

X 線エネルギー分光 (X-Ray Energy Spectroscopy)

撮像装置で、エネルギー分散を求めるには、回折格子など分光素子を使い、位置情報をエネルギー情報に変換することがよく使われている。しかし、X 線を CCD で直接受ける場合には、位置情報を失うことなくエネルギー情報を得ることができる。CCD の電磁波検出原理は、ケイ素の半導体検出器と同じで、6 keV の X 線光子は 1 個で 2,000 個近い数の電子を作る。この電子数を正確に測定すれば、X 線光子のエネルギーがわかる。低雑音読み出しを工夫すれば、6 keV の X 線のエネルギー分解能としてファノ因子だけで決まる 130 eV(FWHM)程度を達成できる。つまり、エネルギー分解能は概ね入射 X 線エネルギーの平方根に比例する。したがって、CCD は X 線用のカラー二次元撮像素子と言える。一方、CCD の読み出し速度は遅く、光子のバイルアップが起こると正確なエネルギー分光はできない。この場合でも、入射エネルギー流量は正確に測定できる。(阪大理 常深 博)