

ELECTRONIC IMAGING IN ASTRONOMY

Detectors and Instrumentation

8 Practical operation of CCDs

櫛引洸佑

理学部天文学科 4 年

2017/5/31

- 8.6 Signal processing and digitization
 - 8.6.3 Overscanning and sub-arrays
- 8.7 Uniformity of response
- 8.8 UV flashing and QE pinning

- 8.6 Signal processing and digitization
 - 8.6.3 Overscanning and sub-arrays
- 8.7 Uniformity of response
- 8.8 UV flashing and QE pinning

8.6.3 overscanning

- "bias" レベル
 - 露光時間ゼロで CCD を読出し \Rightarrow ゼロでない平均値を持った画像
 - 数値的な処理をする前に差し引く必要がある
- bias レベルの取得方法
 - シャッターを閉じて露光時間ゼロで読み出す
 - overscanning を使う
 - CCD の本当の大きさより大きく読み出す
(CCD がすでに終わっても 10pixel ずつくらい clock を続ける)
 - 最終的な画像は二つの縁に bias レベルに相当する電圧のみを持つ
 - ここの pixel を平均することで bias レベルを求めることができる

8.6.3 sub-arrays

- 必要な pixel のみ部分のみ読み出す (sub-section, sub-array)
- sub-array 以外の部分は A/D ユニットによるデジタル化をしない
- 単体の星をガイドして、array 全体を読み出す必要がないとき
- 速さを上げられる、sub-array のための露光時間を短くできる
- 背景が明るい赤外では効果的

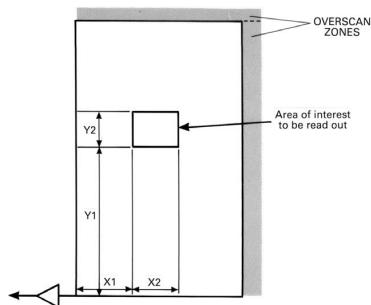


Fig 1: Mclean 教科書より

- 8.6 Signal processing and digitization
 - 8.6.3 Overscanning and sub-arrays
- 8.7 Uniformity of response
- 8.8 UV flashing and QE pinning

8.7 flat field

- 一様な明るさの flat-field を映す \Rightarrow 出力画像は flat ではない
 - 感度が高かったり低かったり、変な形のパターンでまとまっていたり、1つの角から他の角までの勾配があったり
 - bad pixels, blocked column, out-of-focus dust speck も影響を及ぼす
 - 光のレベルによっていくつかの効果が変わる (非線形応答)
- CCD の flat-field response は色の関数になる
 - 異なる波長の光子がシリコンの異なる深さで吸収される
ex)
 $\lambda = 500\text{nm} : 1\mu\text{m}$, $\lambda = 300\text{nm} : < 0.01\mu\text{m}$, $\lambda = 1,100\text{nm} : > 300\mu\text{m}$
 - 物質が均質でない

8.7 flat-field 補正

- 天文用の大きく薄い CCD では不均一性が問題になる
- ただし、これは機械的に取り除ける
 - 観測画像を flat-field の画像で pixel ごとに割る
- 規格化率 r_{ij}

$$r_{ij} = \langle b \rangle \frac{a_{ij}}{b_{ij}}$$

- a_{ij} : signal value
- b_{ij} : value in the flat-field picture
- $\langle b \rangle$: flat-field frame 全体の平均値

8.7 CCD の強み / 波長による違い

- 不均一性の補正はコンピューターで簡単にできる
⇒ 不均一性が起こることは大きな制限ではない
- CCD の大きな利点
 - pixel の位置は変わらない (cf. vidicon-type TV tube: electron readout beam が当たった位置で pixel が定義される)
 - CCD の反応の不均一性が安定している
- front-illuminated CCD
 - 電極による波長依存の吸収がある
- back-illuminated CCD
 - surface effect と CCD の back surface からの多重反射が色依存の不均一性がある
 - 非常に長い波長では多重反射での干渉フリッジがある

- 8.6 Signal processing and digitization
 - 8.6.3 Overscanning and sub-arrays
- 8.7 Uniformity of response
- 8.8 UV flashing and QE pinning

8.8 Hubble 宇宙望遠鏡 WF/PC の問題点

- blue と UV の感度が乏しかった ⇒ 解決しなければいけない
- 当時の天文用 CCD で薄い backside-illuminated であったのは二つだけ
 - TI CCDs
 - blue に対する感度がほぼない
 - 露光の後に実効量子効率が上昇してしまう (quantum efficiency hysteresis: QEH)
⇒ 正確で線形な光度測定装置としては使えない
 - RCA CCDs
 - blue に対する良い感度、UV での有用な感度
 - 読み出しノイズが大きい

8.8 コーティング

- ultraviolet-to-optical converters となる物質 (UV 蛍光物質: サリチル酸塩) を TI CCD にコーティング
 - lumogen や coronene(コロネン) などの UV 蛍光物質
 - UV 光子が coronene を可視光で光らせる \Rightarrow CCD でこれを検出する (14% 程の効率)
 - coronene は反射防止膜としても振る舞うので可視感度も改善
 - Jim Westphal (Caltech) などの発見
 - パロマ観測所での実験
- 色素レーザーコーティング (front-illuminated EEV($e2V$) CCDs)
 - 350nm の紫外に対して 25% もの効率
 - 400nm の青に対しても一様な反応 (coronene のパフォーマンスが落ちるところ)
- UV 感度はより良い "down-converter" にかかっている
 - Metachrome II (真空昇華)
 - 色々な開発企業が頑張っている

8.8 UV flooding

- 乾燥した密閉コンテナ内の高品質の薄い CCD について (JPL の仕事)
 - 数か月前より暗電流がかなり上昇
 - coronene が影響を及ぼしているか確認したいので、蛍光を探すため UV 照射
 - ⇒ 暗電流が普通の値に戻った
 - これは UV 感度と QE の改善 (fix) への手がかり
- 説明
 - 露光される裏の表面に "native-oxide" の薄い層ができ、そこでの不完全性が trap をつくる
 - この望まないポテンシャル井戸が光子で誘起された電子が depletion region に移動するのを妨げる
 - 特に青や UV は表面付近で吸収されるので感度が特に落ちる
 - trap の井戸に捕まった電子はその井戸の深さを変える ⇒ UV 量子効率が照射レベルで異なる
 - trap のエネルギーレベルが価電子帯と伝導帯の間ならば、暗電流増加

8.8 UV flooding

- fix の原理

- エネルギーの近い UV 光子 (200~250nm) は優先的にもっともエネルギーの高い trap を埋める \Rightarrow CCD 表面に net negative charge を作る
- 電子の斥力のように、負に帯電した表面が trap 井戸をなくし、電子が表面から depletion region に動くように促す
- これで量子効率の低下、QEH を防ぐ
- 表面のエネルギーレベルがエネルギーギャップからなくなるので暗電流を改善

8.8 QE pinning

- negative charging procedure
 - 室温でも十分可能
 - 173K 以下に冷却しているときには電荷が動けなくなるので、一定の状態を保てる \Rightarrow CCD の QE を理論上の最大値にしたまま動かせる (QE pinning)
- UV flooding に必要な状況
 - 2,000~2,550 Å の波長と 10^9 photons/pixel (2,139Å で)(亜鉛ランプ)
 - 酸素の存在
- 温度による持続の違い
 - 室温、湿度の高い: 数時間
 - -120°C 、真空: 少なくとも 6 ヶ月
- flooding は温かい状況でやって、その後すぐ冷やすのが最も良い
- UV 放射が強すぎる (1,850Å) とプロセスが逆行してしまう

8.8 Chemically induced Negative surface charging

- 化学的に Negative surface charging をおこす
- NO のガスに thinned CCD を数分さらしておくと 400nm でのパフォーマンスが改善された
- 効果は UV flooding より強く、いくらか持続的

8.8 flash gate

- backside CCD surface をコントロールするより良い方法
⇒ CCD に薄い電気伝導コーティングをする (flash gate)
⇒ 表面で調整できる電位を可能にする
- 伝導物質と CCD の分離での問題が制限を与えるが、 4\AA の金やプラチナによる薄い層を作ること
で UV、XUV、軟 X 線での効果が大きく持続的な改善が見られた

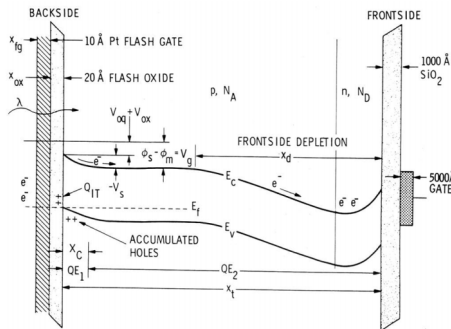


Fig 2: Mclean 教科書より

8.8 thinned CCD の作成と問題点

- CCD を薄くする行程
 - フッ化水素酸、硝酸、酢酸の溶解によるエッチング
 - 機械的な研磨
- 問題点
 - ゆがみ ⇒ 特殊な光学系が必要な場合も (HST に計画されていた TI device)
 - 干渉フリンジ ⇒ deep depletion CCD で解決
- 多くの製造者が thinning process を開発
 - Mike Lesser (Steward Observatory)
thick device を thinned device に変える技術