

## AN02: 広域デジタルX線専用イメージャー

Thorsten Graeve and Gene P. Weckler

Rad-icon Imaging Corp.

### 1. はじめに

X線撮影の分野には100年以上の歴史があります。ところが化学薬品を用いたアナログの撮影技術に「背を向けて」デジタル全盛時代に突入したのはつい最近のことです。イメージングにおけるデジタル革命は、1970年代の初めに最初のデジタルイメージャーと、撮影画像を分析して処理するマイクロプロセッサが登場して始まりました。1980年代にデジタルイメージング技術はビデオカメラへと広まり、さらに1990年代にはデジタル静止画カメラへと伸びていきました。ついにはX線撮影もデジタルイメージング技術を利用するようになりました。この挑戦的なアプリケーションが長い間行き止まっていたのは、主にX線光学装置に欠かせない広域のイメージング素子の製作が困難で費用がかかるために適切なものがなかったためです。ところがこうした素子はこの十年ばかりのうちに著しく発達して、今ではデジタルX線撮影のアプリケーションに利用できるようになりました。

### 2. デジタルX線撮影のマーケットとアプリケーション

デジタルX線撮影の一般的なマーケットは、非破壊検査(NDT)や工程監視といった工業への応用から、科学研究、医療分野にまで及んでいます。物品検査は特に重要なアプリケーションで、微小部品、プリント基板、溶接部品、農業生産および食品製造、密輸品の検査などがあります。デジタルX線画像を必要とする科学研究は、結晶学、分光学、ビーム分析などです。

### 3. X線専用イメージャーの技術

アナログイメージングのX線技術に含まれるのはフィルムとイメージ増強装置です。ここで述べるデジタル技術とは、非晶質シリコンパネル、電荷結合素子(CCD)イメージャー、CMOSイメージャーのことです。

#### 3.1 非晶質シリコンイメージャーの概要

非晶質シリコンイメージャーは、一般にアクティブ薄膜トランジスター(TFT)マトリックスの読み出し素子を備えたフォトダイオードアレイで、アクティブマトリックスフラットパネルディスプレイに似ています。薄膜技術によって非常に広いイメージング領域が可能になり(20cmX20cm以上)、非晶質シリコンには非常に高い放射線耐性があります。けれども非晶質シリコン半導体の特性が理想どおりとはいかないので、解像度(一般に>100  $\mu$ m)と性能(ノイズ、コントラスト)には限度があります。さらに専用の工場設備での特殊な製造工程が要求されるので、競合する技術よりも製造と開発に費用がかかります。

#### 3.2 光学インターフェースを備えたCCDの概要

この二十年ばかりのうちに、CCDイメージャーは高性能光学イメージング技術の主流になりました。CCDは、非晶質シリコンパネルやCMOSイメージャーのようなマトリックスタイプの

(株)アド・サイエンス/TEL:047-434-2090

イメージャーとは異なって、シリコン基板で電荷パケットを移動させて信号を読み出します。高解像度、低ノイズ、高感度という長所があります。デジタルX線撮影では、視野を広げるとともにCCDを放射線による損傷から保護する光ファイバテーパと結合させるのが一般的です。CCDは放射線による損傷を非常に受けやすいので、テーパを付けてシールディングをしても、低エネルギー（一般に<50kV）のX線イメージングアプリケーションでしか使用できません。非晶質シリコンのように、製造には特殊な工程が必要とされるので、開発費用は高くなります。光ファイバテーパも高価で、CCDチップとの結合は難しく、結合した場合にCCDの感度は倍率の2乗分だけ悪化します。

### 3.3 CMOS イメージャーの概要

CMOSイメージャーも非晶質シリコンパネルのように、マトリックスタイプのフォトダイオードアレイです。ところが高度に発達した工業インフラ 半導体産業 のおかげで、マイクロプロセッサやロジックアレイを製造するのと同じ製造工程と設備を使用できます。言い換えると、IC産業はすでに技術開発と製造設備の元を取ってしまい、さらにまだ続いているということになります。現在では狭いライン幅の処理によってピクセル単位で特性を操作できるようになり、CMOSアレイの性能は著しく向上しています。ノイズレベルはCCDに匹敵するほどになり、CMOSイメージャーのダイナミックレンジは一般に数倍に向上しています。さらに、CMOSアレイはタイミングと読み出しの機能を同一の素子上にまとめることができます。高集積の構造によって「オンチップシステム」(SOC)の設計が可能になり、大量の補助電子回路を必要とするイメージャーよりもかなり低価格になっています。

## 4. ラドアイX線専用CMOSイメージャー

1997年にラドアイコンイメージング社は、CMOSテクノロジーを基礎としたX線専用イメージャーの開発と製造を目的として設立されました。広域CMOSイメージャーであるラドアイ製品は、オンチップの集積回路と、X線イメージングに最適な高解像度の広域ピクセルアレイと結びついた低ノイズの差動信号抽出が特徴となっています。可変積算時間(60msから60sまで)や非破壊読み出しといった機能の追加によって、広範囲のイメージングアプリケーションで使用できるものになっています。相補的な製品であるシャドボックスカメラは、ラドアイセンサーを利用したもので、コンピュータを用意するだけで独立して使用できるX線カメラです。

基本的なラドアイの構成ブロックは、3面取り付け可能のアクティブピクセルCMOSイメージャーで、48 ㎜シリコンダイオードで512X1024ピクセルを構成しています。有効面積は約25X50mmで、ダイナミックレンジは10,000:1以上です(>80dB)。最大ピクセルデータレートは2.5 MHzで、ラドアイイメージャーは最大4.5フレーム/秒(fps)で動作可能です。間引きサンプリング(1行1列おきに省略するサンプリング)を用いるとフレームレートを17fpsに増やすことができます。またこれに対して、平均暗電流が4000エレクトロン/秒と非常に低いので、ラドアイイメージャーは飽和のリスクを犯さないで数十秒の信号積算ができます。

<i>Technology</i>	<i>Active Pixel CMOS</i>	<i>Passive Pixel CMOS</i>	<i>CCD with Fiber Optic Taper</i>	<i>a-Silicon Passive Pixel</i>
Availability of Technology	available from foundries	available from foundries	requires special process	requires special fab
Pixel Architecture	active photo-diode pixel	passive photo-diode pixel	field-induced detector	passive photo-diode pixel
Overall Performance	*****	***	**** (depends on taper)	**
Noise	****	***	**** (depends on taper)	**
Dynamic Range	*****	*****	*** (depends on taper)	*****
Radiation Tolerance	****	*****	*** (saved by the taper)	*****
Level of Integration	*****	*****	**	-
Resolution	> 10 $\mu\text{m}$	> 10 $\mu\text{m}$	10-50 $\mu\text{m}$ w/o taper > 50 $\mu\text{m}$ with taper	> 100 $\mu\text{m}$
Cost Effectiveness	****	*****	**	**

Figure 1 – Comparison of X-ray Specific Imager Technologies

ラドアイイメージャーは3面取り付け可能なので、モザイク状にモジュールを数個組み合わせ、より大きいイメージャーを構成できます。2個を結合すると1024X1024ピクセルのデテクターになり、有効面積は50X50mmになります(ラドアイ2)。8個を結合すると、2048X 2048

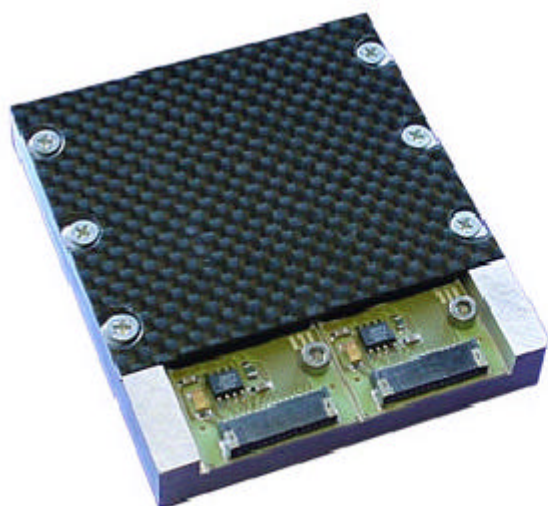


Figure 2 – RadEye™ 2 Imager

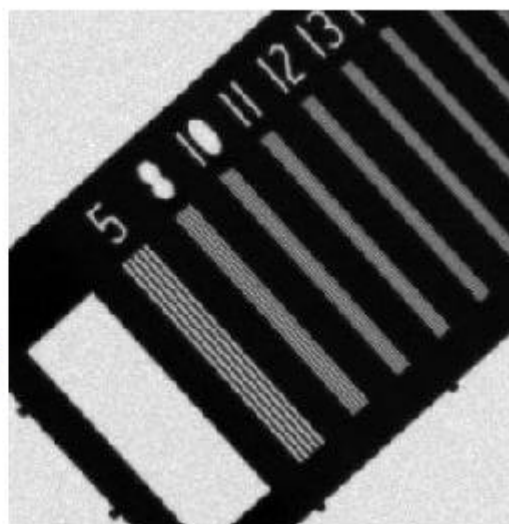


Figure 3 – Resolution Chart

ピクセルで有効面積が100X100mmのデテクターになります。特殊なアプリケーションでは、これらのモジュールを曲面上に配置して、画像面を曲面に近づけることができます。

## 5. 将来への展望

CMOSテクノロジーは発展を続けてウェーハのサイズはしだいに大きくなっています。現在の「主流」である6インチサイズのウェーハでは、長さ100mmまでのイメージセンサーが可能で、組み合わせると幅20cmまでの画像領域を形成できます。近いうちにもっと広く用いられるようになる8インチのウェーハでは、30cmまでの画像領域が可能です。現在開発中である12インチのウェーハを用いるともっと大きなイメージセンサーが可能になります。CMOS製造業は近いうちに新技術を取り入れる予定で、IC業界は開発に資金を投入し続けています。

	<i>Amorphous Silicon Panel</i>	<i>CCD with F.O. Taper</i>	<i>CCD without F.O. Taper</i>	<i>X-ray Specific CMOS Imager</i>
Field of View	*****	***	*	****
Resolution	**	***	*****	*****
Performance	***	****	*****	*****
Adaptability of Technology	*	*	*	****
Cost Effectiveness	**	***	****	*****

Figure 4 – Future outlook for improved x-ray image capture

## 6. まとめ

デジタルX線撮影とその主なマーケットやアプリケーションについて簡潔に説明して、シリコンパネル、光ファイバテーパ付きCCD、CMOSイメージャーといったいくつかのデジタルX線専用イメージャーの技術を比較しました。非晶質シリコンパネルはサイズに利点がありますが、感度が劣ります。CCDは感度が優れていますが、高価で放射線による損傷を受けやすいという短所があります。CMOSイメージャーは低価格で、様々なデジタルX線イメージングアプリケーションで優れた性能を発揮します。ラドアイX線専用CMOSイメージャーは、そのような装置の実例と言えます。ラドアイイメージャーは、高解像度と手ごろな有効領域を特徴としていますが、複数組み合わせで大きなイメージング領域を実現することもできます。CMOSテクノロジーは発展を続けていて、ウェーハのサイズはしだいに大きくなっているので、X線用CMOSイメージャーもしだいにサイズが大きくなってもっと広範囲のデジタルX線撮影アプリケーションに使用されていくことでしょう。

さらに詳しくは弊社に問合せください: