

# フラットパネルディスプレイ (FPD) 向けCVD装置の開発

Development of CVD Apparatus for Manufacturing Flat Panel Displays

> 洒 井 彦\* 藤原 喜\* 敏 将 T. Sakai M. Fujiwara 介\* 治\* 東 大 中田 誓 D. Azuma S. Nakata 入 澤 彦\* 清\* 久保田 K. Irisawa K. Kubota 典\* 安東 靖 Y. Andoh

## 概要

次世代フラットパネルディスプレイにおける大型化や高精細化を実現するために、IGZO等を用いた酸 化物TFTへの期待が高まっている。当社では、第6世代基板(G6)以降の大型化を見据えて、独自の高密 度プラズマ技術を用いることで、酸化物TFTに求められる高品質絶縁膜を形成することができるCVD装置 の開発を行っている。

## Synopsis

Oxide thin-film transistors (TFTs) typified by IGZO are expected to be applied to the next-generation large and high-definition flat panel displays (FPDs) . In order to deposit high-quality insulation films which is required to produce oxide TFTs, we are developing new CVD equipment applicable to the G6 and larger substrates by using our original high density plasma technology.

## 1. はじめに

IGZO(InGaZnO)に代表される酸化物半導体は、高 電子移動度、高スイッチング速度、低オフ電流などの 特徴を持つことから、これまでのアモルファスシリコ ン (a-Si) や低温ポリシリコンに代わる材料として、有 機EL等の次世代フラットパネルディスプレイ(FPD) 用薄膜トランジスタ(TFT)への適用が期待されてい る<sup>(1)(2)</sup>。また、IGZO膜を用いたTFTは、従来のa-Si TFTと同様に、低コストでの大面積化が可能なことか ら、大型TV用途への展開についても、非常に注目され ている。

一般的なIGZO-TFTの構造を図1に示す。半導体で あるIGZO膜の周辺には、保護膜、ゲート絶縁膜(GI 膜:Gate Insulator膜)等の各種絶縁膜が形成される。 これらの絶縁膜の材料としては、一般的に、高密度で 高絶縁性を有する窒化シリコン(SiNx)や酸化シリコン(SiOx)が使用され、通常、SiH<sub>4</sub>(シラン)ガスを主 ガスに用いて、平行平板電極による容量結合プラズマ (CCP: Capacitively Coupled Plasma) CVD法によっ て成膜される。SiNx膜中には10~20at%の水素が含まれ ている一方、酸化物であるIGZO膜は、周辺の絶縁膜に 過剰の水素が含まれると、IGZO膜への水素の拡散によ り特性が劣化し、TFTの信頼性が低下(TFTの閾値電  $EV_{th}$ が大きく変化)することが知られている<sup>(3)</sup>。SiNx 膜中の水素濃度を低減させる試みとしては、SiF<sub>4</sub>ガス を用いたCCP-CVD法による成膜例が報告されているが <sup>(4)</sup>、プロセス温度が380℃と高温であり、フレキシブル 基板に適用するためには低温化が必要である。

そこで、当社では、ガスの分解効率を高めるため に、内部アンテナ方式による高密度誘導結合プラズマ

\*研究開発本部

(ICP: Inductively Coupled Plasma)を用いた、酸化 物半導体用ICP-CVD装置の開発を行ってきた。また、 構成元素に水素を含まないSiF<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>を用い、基板温 度250<sup>°</sup>C以下でも膜中水素が少ない絶縁膜を開発して きた<sup>(5)-(9)</sup>。本稿では、G6(基板サイズ:1500mm× 1850mm)以降の大型化を見据えた取り組みと、当社製 ICP-スパッタ装置と組み合わせて作製したTFTの評価 状況について報告する。



図1 IGZO-TFTの一般的な構造概念図:ボトムゲート型構造

# 2. 装置構成

図2及び表1はそれぞれ、G6量産検証機の外観及び G6量産機の目標仕様である。検証機は、ロードロック 室1室と成膜室1室という最小限の構成となっている。一 方、量産機は、ロードロック室2室(上下2段)、成膜室 3~4室の構成で、60~70枚/時のスループットを予定し ている。プロセスガスとしては、主に、水素を含まな いSiF4を想定しているが、各種デバイスやプロセスに応 じて、SiH4等も利用可能である。



図2 G6量産検証機 (ICP-CVD) の外観

表1 G6量産機 (ICP-CVD)の目標仕様

基板サイズ	$1500 \times 1850 \times t0.5 \sim 0.7 \text{mm}$ (G6)
基板処理枚数	60枚/時@3室(70枚/時@4室)
基板温度	~300°C
成膜圧力	5~15Pa (38~113mTorr)
成膜室 到達可能真空度	$\leq 1.33 \times 10^{4} Pa (1 \times 10^{6} Torr)$
ロードロック室	2室(2段)
成膜室	3室(最大4室)
搬送室	1室(6角形)
真空排気系 ・ロードロック室 ・成膜室 ・搬送室	DRP TMP+DRP TMP+DRP
プロセスガス種	SiF <sub>4</sub> , SiH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>
クリーニングガス種	NF <sub>3</sub> , Ar

図3は、成膜室の概略図であり、a)が正面からの 断面図、b)が平面図である。プラズマ生成には、 13.56MHzの高周波を用い、1台の電源から複数のアンテ ナに電力を分配している。アンテナ本数は、装置サイ ズによって異なり、各アンテナに流れる電流をカレン トトランス (CT)で測定している。各アンテナに接続 した可変コンデンサ等を用いてインピーダンスを制御 することで、アンテナ間の電流均一性の調整が可能で ある。





**NISSIN** ELECTRIC

### ■3. 大型化を見据えたアンテナ開発

3.1 構造

従来の直管型では、アンテナの長さに比例してリ アクタンス成分が大きくなり、インピーダンスが大 きくなってしまうという課題があった。このため、 当社では、G6以降の大型化を見据えて、アンテナの インピーダンスを任意に設計できる"LCアンテナ" を開発した。

アンテナを直列回路とみなすと、そのリアクタン スXは、角周波数ω、インダクタンスL及びキャパシ タンスCを用いて、下記式で表される。

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

このため、アンテナ内にキャパシタを組み込むと、 銅パイプ部による「ωL」(正の値)と負の値となる 「-1/ωC」をうまく組み合わせることで、アンテナイ ンピーダンスを所望の値に設計することが可能とな る。

図4に、従来アンテナと開発したLCアンテナの インピーダンス分布の概念図を示す。従来アンテナ は、本質的にインダクタンスLのみからなっており、 長さに応じてインピーダンスが大きくなる。その結 果、プラズマ発生のために電流を流すと、アンテナ 内に大きな電位分布が生じてしまう。一方、LCアン テナのインピーダンスは、キャパシタンスCをうまく 設計することで、インピーダンスを一定の範囲内に 収めることができるので、アンテナ内の電位分布を 小さく抑制することが可能となる。

図5は、実際に作製したLCアンテナの外観写真で ある。インダクタLとキャパシタCが直列に接続され た構造になっており、ネットワークアナライザを用 いた測定により、従来品よりも低いインピーダンス となること、また、インピーダンスを任意に調整で きることを確認している。





図5 LCアンテナの外観

#### 3. 2 面内均一性

図6は、SiF₄と№を用いて、RFパワー40kW、基板 温度250℃で成膜したSiN:F膜の成膜速度と、LCアン テナに流れる電流の関係を示すグラフである(各平 均値で規格化)。このように、成膜速度は、アンテナ 電流に対して強い正の相関があるため、アンテナ電 流の均一性を高めることで、成膜速度の面内分布を 改善することができる。

図7は、SiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>を用いて、RFパワー9kWで、G4-CVD装置にてSiNx膜を成膜した際の成膜速度の面内 分布を示しており、a)とb)は、それぞれ、アンテ ナ長さ方向とアンテナ並び方向の測定値である。こ こに示した通り、ともにバラツキ5%未満の良好な均 一性が得られている。図8は、LCアンテナをG6-CVD 装置に展開し、SiF<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>を用いて、RFパワー40kWで 成膜したSiN:F膜の膜厚分布(アンテナ並び方向)で ある。このように、G6以降の大型化を見据えて開発 したLCアンテナを適用することで、装置サイズやガ ス種によらず、幅広いプロセス条件で膜厚制御が可 能であることを確認している。



図6 アンテナ電流と成膜レート (それぞれ平均値で規格化)





## ■4. TFT向け絶縁膜の評価

ICP-CVD装置で成膜した絶縁膜、ICP-スパッタ法によるIGZO膜、及び、シロキサン保護膜を用いて、TFTの 試作を行った。**図9**は、基板温度250℃でSiF<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>を用 いて成膜したSiN:F膜をGI膜として作製したIGZO-TFT で得られた初期伝達特性(300℃アニール後)であり、 **図10**は、バイアス負荷 (NBS: Negative Bias Stress) テストにおける、熱酸化SiO<sub>2</sub>によるGI膜との比較結果で ある。**図10**に示されるように、SiN:F膜の $V_{\rm th}$ のシフト量  $\Delta V_{\rm th}$ は-0.18Vで、熱酸化SiO<sub>2</sub>膜の-0.91Vよりも小さく、 信頼性が向上している<sup>(10)</sup>。

現在、絶縁膜に含まれる水素が少ない点を利用して、当社製ICP-スパッタ装置によるIGZO膜との組み合わせにより、プロセス全体を低温化するという試みも進めている<sup>(11)</sup>。図11は、SiO:F膜の成膜とTFT作製後のアニールを、250℃と200℃で実施して作製したTFTの伝達特性であるが、V<sub>th</sub>のマイナスシフト等、プロセスの低温化による大きな性能変化は見られていない。プロセス温度200℃において、電子移動度とサブスレショルド・スイング(電流を一桁増加させるために必要なゲート電圧の変化量)は、それぞれ、5.31cm<sup>2</sup>/Vsと0.82V/decであり、現在、信頼性の向上等を目指して系統的な評価を進めているところである。



**NISSIN** ELECTRIC



図10 ICP-CVDを用いたGI膜(SiN:F膜)とICP-スパッタを 用いたIGZO(単層構造)膜により作製されたTFT デバイスの信頼性評価



## ■5. まとめ

今回、新たに開発したLCアンテナを、G4及びG6基板 サイズの装置に適用することで、異なるプロセス条件 においても、均一性の高い成膜が可能であることを示 した。このように、LCアンテナを使用することで、装 置サイズやプロセス条件に関わらず、面内均一性の高 い成膜が可能であり、G6以降の装置大型化に向けた見 通しが得られた。

TFT向け絶縁膜の評価では、SiF₄を原料とし、ICP-CVD装置を用いてGI膜を成膜することで、良好なTFT 信頼性が得られることを確認した。さらに、当社製ICP-スパッタ装置との組み合わせにより、プロセス温度 200℃で作製したTFTの動作を確認することにも成功し た。

現在、市場投入に向けて、独自技術に基づくアンテ ナインピーダンスの制御やその自動化、並びに、量産 機の設計を進めている。

#### 参考文献

- (1) K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono : Nature, 432, 488 (2004)
- (2) K. Nomura, A. Takagi, T. Kamiya, H. Ohta, M. Hirano, and H. Hosono : Jpn. J. Appl. Phys., 45, 4303 (2006)
- (3) H. Godo, D. Kawae, S. Yoshitomi, T. Sasaki, S. Ito, H. Ohara, H. Kishida, M. Takahashi, A. Miyanaga, and S.Yamazaki : Jpn. J. Appl. Phys., 49, 03CB04 (2010)
- (4) S. Fujita, H. Toyoshima, T. Ohishi, and A. Sasaki : Jpn. J. Appl. Phys., 23, L144 (1984)
- (5) 藤原将喜他,薄膜材料デバイス研究会第8回研究集会アブストラクト,5005 (2011)
- (6) 日新電機技報, 58-1, p.6 (2013)
- (7) 日新電機技報, 59-1, p.4 (2014)
- (8) 日新電機技報, 60-1, p.5 (2015)
- (9) 日新電機技報, 62-2, p. 39 (2017)
- H. Yamazaki, Y. Ishikawa, Y. Ueoka, M. Fujiwara,
  E. Takahashi, Y. Andoh, and Y. Uraoka: IDW/AD
  '12, 843 (2012)
- (11) D. Matsuo, R. Miyanaga, S. Kishida, Y. Setoguchi, Y. Andoh, M. Fujii, and Y. Uraoka: IDW' 17, 441 (2017)

-39-



## ◎執筆者紹介



**酒井 敏彦** Toshihiko Sakai 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所 主任



**東 大介 Daisuke Azuma** 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所



**入澤 一彦 Kazuhiko Irisawa** 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所 主幹



**安東 靖典** Yasunori Andoh 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所長



**藤原 将喜 Masaki Fujiwara** 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所



**中田 誓治** Seiji Nakata 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所



**久保田 清** Kiyoshi Kubota 研究開発本部 ビーム・プラズマ技術開発研究所 主幹