

一 般 論 文

IGZOパネル向け製造装置の開発

Development of the IGZO Panel Manufacturing Equipment

藤原 将 喜* 酒井 敏 彦*
M. Fujiwara T. Sakai
東 大 介* 入澤 一 彦*
D. Azuma K. Irisawa
久保田 清*
K. Kubota

概要

液晶ディスプレイ (LCD) や有機EL (OLED) ディスプレイなどのフラットパネルディスプレイ (FPD) の高精細化やフレキシブル対応が進むにつれて、IGZOに代表される酸化物半導体の薄膜トランジスタ (TFT) への適用が期待されている。当社では、酸化物半導体TFTの製造に必要な高品質絶縁膜の形成用に、独自の高密度プラズマ技術を用いたCVD装置を開発している。

Synopsis

Flat Panel Displays (FPD) such as Liquid Crystal Displays (LCD) or Organic Light Emitting Diode Displays (OLED) are required to be improved in definition and flexibility more and more, and the application of oxide semiconductors represented by IGZO to thin-film transistors (TFT) is expected. We are developing the CVD equipment using our original high density plasma technology, in order to deposit the high-quality insulation film for the oxide semiconductor TFTs.

■ 1. はじめに

In-Ga-Zn-O₄ (IGZO) に代表される酸化物半導体は、電子移動度が高い、スイッチング速度が速い、オフ時の漏れ電流が少ない、透明であるなどの特徴から、これまでのアモルファスシリコンやポリシリコンに代わって、次世代フラットパネルディスプレイ (FPD) に用いられる薄膜トランジスタ (TFT: Thin Film Transistor) への適用が期待されており、IGZO膜を用いたTFTは、従来のアモルファスシリコンTFTを大きく超える性能を有することが確認されている⁽¹⁾⁽²⁾。一般的なIGZO-TFTの構造を図1に示すが、半導体であるIGZO膜の周辺には、保護膜 (Passivation)、ゲート絶縁膜等の各種絶縁膜が形成されている。これらの絶縁膜としては、一般的に高密度で高絶縁性を有する窒化シリコン (SiN_x) 膜や酸化シリコン (SiO_x) 膜が使用

されているが、従来は、SiH₄ガスを用いて平行平板電極型のプラズマCVD法 (PECVD法) で作製されており、特に300℃以下の低温で形成された膜中には10~20at%の水素が含まれることが知られている。一方、IGZO膜は、水素の存在によって特性が変化することが知られており、IGZO膜に接する絶縁膜に過剰に水素が含まれると、TFT特性の劣化、すなわち、信頼性の低下 (TFTの閾値電圧: V_{th}の大きな変化) を生じる⁽³⁾。SiN_x膜中の水素濃度を低減させる試みとしては、一般的なプラズマCVD法でSiF₄ガスを用いる方法が報告されているが⁽⁴⁾、成膜温度が380℃であり、フレキシブル基板への対応が難しい。よって、プロセス全体の低温化には、低水素化膜の形成に用いるプラズマ技術に改善が必要である。

そこで、当社では高密度プラズマの発生により、ガ

* 研究開発本部

スの分解性能を高めることが可能な内部アンテナ方式による誘導結合型プラズマ（ICP：Inductively Coupled Plasma）源を用いたIGZO向けCVD装置を開発し、基板温度250℃以下で、本質的に水素を含まないSiF₄とN₂ガスを用いて低水素絶縁膜を形成するプロセスを開発してきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。本稿では、上記の技術を用いた開発の現状について報告する。

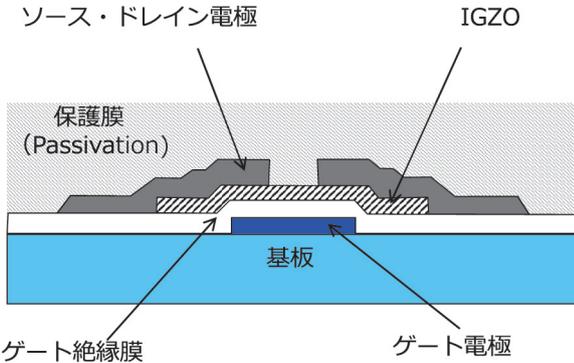


図1 IGZO-TFTの一般的な構造概念図：ボトムゲート型構造

2. 仕様と装置構成

表1に第6世代基板対応装置の仕様を示す。また、図2に装置外観、図3と図4に成膜室構成図とアンテナ給電部の概念図をそれぞれ示す。排気系としては、成膜室と搬送室には、ターボ分子ポンプ（TMP）とドライポンプ（DRP）を、ロードロック室にはドライポンプを用いている。プラズマの生成には、一般的な13.56MHzの高周波電力を複数のアンテナに分配して供給しているが、アンテナごとに設置した電流モニタと可変コンデンサで個別の調整が可能な仕様になっている。

表1 装置仕様（概要）

基板サイズ	1500×1850×t0.5~0.7mm (G6)
基板処理枚数	60枚/時@3室 (70枚/時@4室)
基板温度	250℃以下
成膜圧力	5~15Pa (38~113mTorr)
成膜室到達可能真空度	≤1.33×10 ⁻⁴ Pa (1×10 ⁻⁶ Torr)
ロードロック室	2室
成膜室	3室(最大4室)
搬送室	1室(六角形)
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 ₄ , N ₂ , H ₂ , O ₂
クリーニングガス種	NF ₃ , Ar

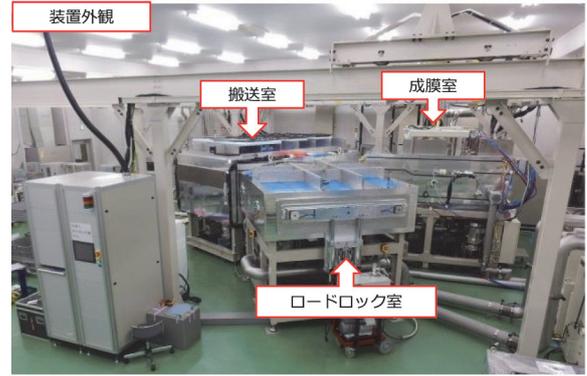


図2 装置外観

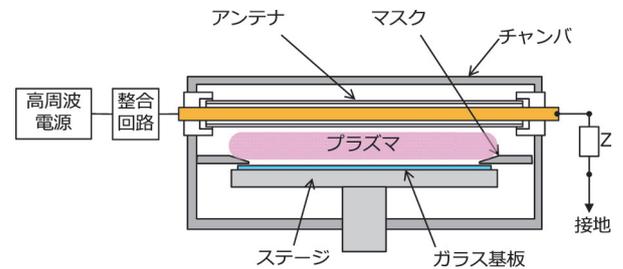


図3 成膜室構成図

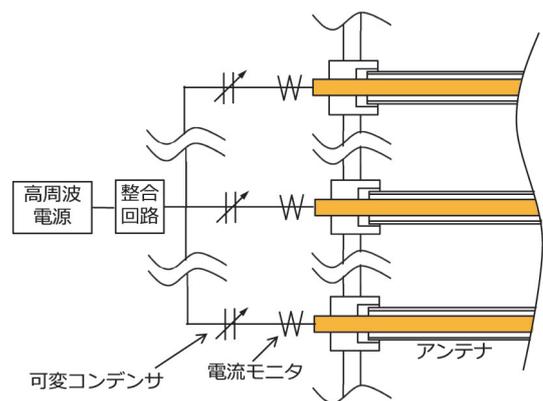


図4 アンテナ給電部の概念図

3. 装置性能

3. 1 面内膜厚分布と成膜速度

図5と図6に基板温度250℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜の面内膜厚分布とアンテナ並び方向膜厚分布 (A-A'断面)を示す。複数のアンテナに分配する電力を、電流モニタと可変コンデンサで調整することで、アンテナごとの供給電力のバラツキを抑え、第6世代サイズの基板の面内で良好な膜厚均一性を得ることに成功している。また、図7に基板温度250℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜の成膜速度のRF Power依存性を示す。このとき、成膜圧力とN₂流量は一定で、SiF₄とN₂の流量比を変化させている。成膜速度はRF Powerに対して増加する傾向を示し、SiF₄/N₂=0.5、RF Power=60kWにおいて、200nm/minという高い成膜速度を実現している。

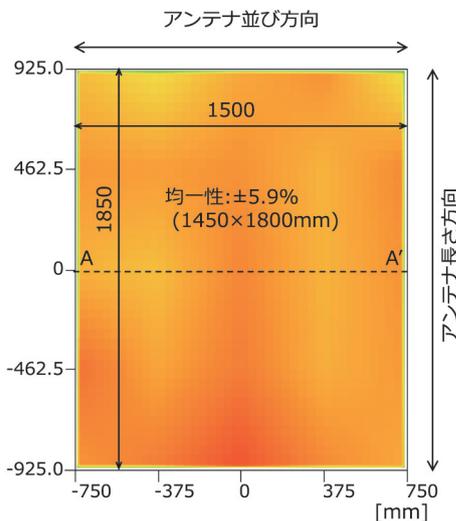


図5 SiN_x膜の面内膜厚分布

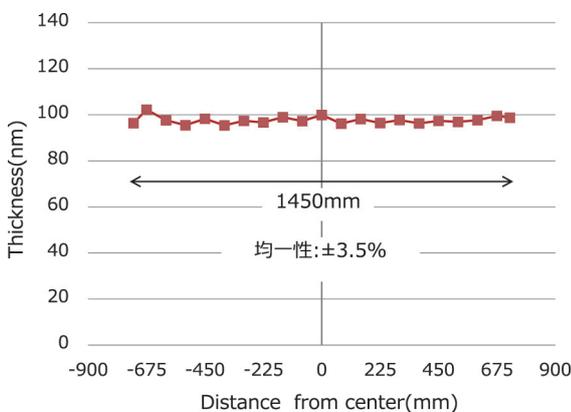


図6 SiN_x膜のアンテナ並び方向膜厚分布 (A-A'断面)

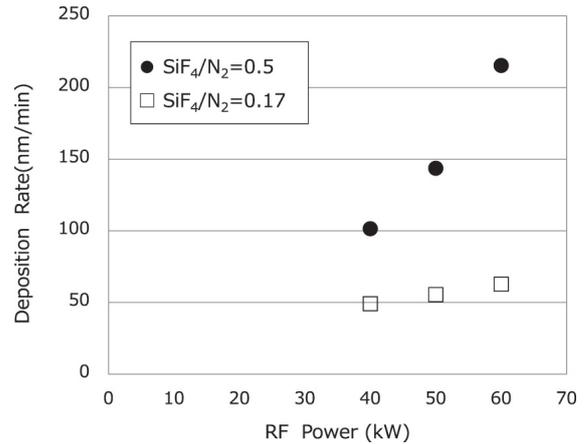


図7 SiN_x膜のRF Power依存性

3. 2 膜中水素濃度

図8に基板温度250℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜と、基板温度300℃でSiH₄とNH₃により形成したSiN_x膜のフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy) スペクトルの代表例を示す。前者の膜では、920cm⁻¹付近にSi-N結合のピークが見られる一方で、2200cm⁻¹付近のSi-H結合のピークは認められず、また、3300cm⁻¹付近のN-H結合のピークもわずかであり、膜中水素濃度は0.9at% (検出限界) 以下であった。それに対して、後者の膜では、Si-H結合やN-H結合に由来するピークが確認でき、膜中水素濃度はSi-H結合 (2233cm⁻¹) とN-H結合 (3340cm⁻¹) の吸収ピーク比からの算出で約5.6at%であった。これらのことから、SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜中の水素濃度は非常に低いことが確認された。

図9に基板温度250℃でSiF₄とO₂により形成したSiO_x膜のFT-IRスペクトルの代表例を示す。1080cm⁻¹付近にSi-O結合ピークが見られる。一方、2200cm⁻¹付近のSi-H結合ピーク、3300cm⁻¹付近のN-H結合ピーク、3400cm⁻¹付近のO-H結合ピークは全く認められず、膜中水素濃度は0.7at% (検出限界) 以下であった。これらのことから、SiF₄とO₂により形成したSiO_x膜中の水素濃度は非常に低いことが確認された。

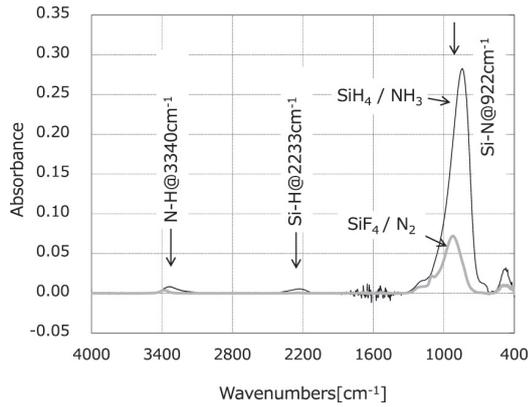


図8 SiN_x膜のFT-IRスペクトル

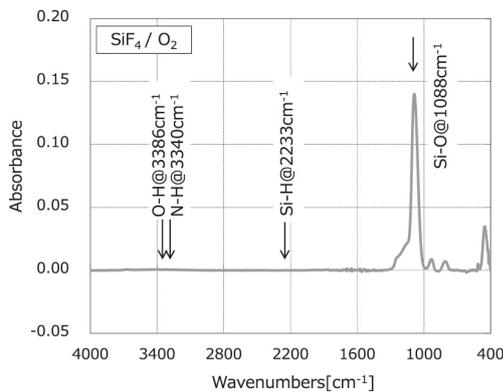


図9 SiO_x膜のFT-IRスペクトル

3.3 水素脱離量

上述したように、FT-IRスペクトルでSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜中の水素濃度が低いことが確認されたが、この膜をゲート絶縁膜もしくは保護膜として利用する場合、成膜後のストレスによって発生する不純物の拡散がデバイス性能を左右する。そこで昇温脱離ガス分析法（TDS：Thermal Desorption Spectroscopy）により水素の脱離量を測定した。

図10に基板温度150℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜と、スパッタ法により形成したSiO₂膜について昇温脱離質量分析法（TDS-MS：Thermal Desorption Spectroscopy - Mass Spectrometry）によって測定された水素脱離量を示す。SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜は、600℃まで昇温することで、わずかに水素脱離量の増加は見られるものの、スパッタ法により形成したSiO₂膜と比較すると非常に少ないことがわかる。また、SiN_x膜についてフッ素脱離量の測定も行ったが、検出限界以下であった。Si-Fの結合エネルギーはSi-Hに比べてはるかに高いことから、600℃以下の温度範囲で膜中フッ素の熱脱離はないと考えられる。したがって、SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜は非常に安定していると言える⁽⁸⁾。

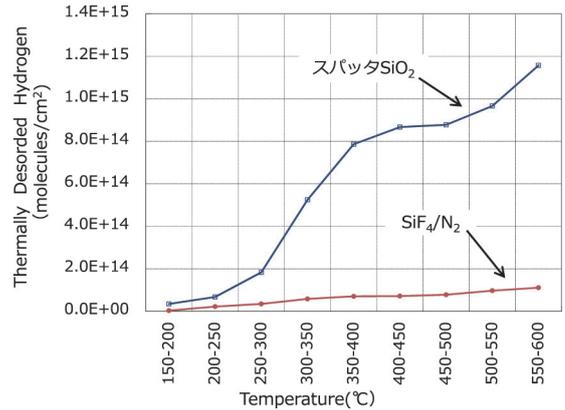


図10 TDS-MSによる水素脱離量

3.4 電流-電圧特性

図11に基板温度250℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜と、基板温度250℃でSiF₄とO₂により形成したSiO_x膜の電流-電圧（I-V）特性の代表例を示す。また、低圧CVD（LPCVD：Low Pressure CVD）による熱プロセスで形成したSiN_x膜の特性をあわせて示す⁽⁹⁾。

SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜と、SiF₄とO₂により形成したSiO_x膜は、LPCVDによる熱プロセスで形成したSiN_x膜に比べて高い電界強度に耐える膜になっている。なお、絶縁破壊電界強度を電流密度（Current density）1×10⁻⁵A/cm²時の電界強度（Electric Field）と定義すると、当社が開発したプロセスで形成した膜の絶縁破壊電界強度は、SiN_x膜で約9.5MV/cm、SiO_x膜で約9.0MV/cmとなり、LPCVDによるSiN_x膜と比べて約3~3.5MV/cm高く、両者共に良好な耐電圧特性を示すことが確認された。

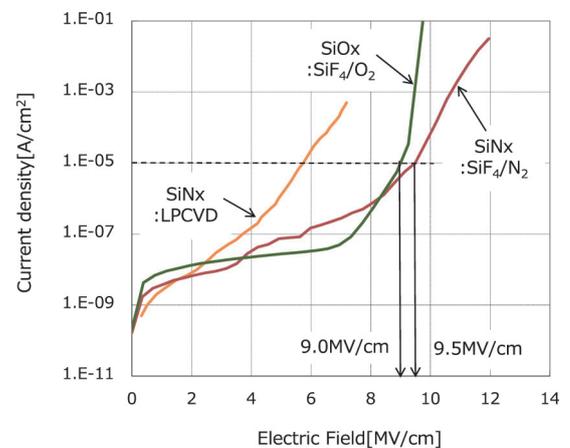


図11 電流-電圧特性

4. TFT特性

IGZO-TFTの信頼性評価として、**図12**に基板温度300℃でSiH₄とNH₃により形成したSiN_x膜、**図13**に基板温度150℃でSiF₄とN₂により形成したSiN_x膜をゲート絶縁膜とした場合の正バイアス負荷（PBS：Positive Bias Stress）テストの結果を示す^{(10) (11)}。後者の膜をゲート絶縁膜に用いた場合、前者の膜と比較して、TFTの閾値電圧（V_{th}）の変化が1桁以上小さいことが分かる。このことから、SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜を用いることで、IGZO-TFTの信頼性が向上することが確認された。

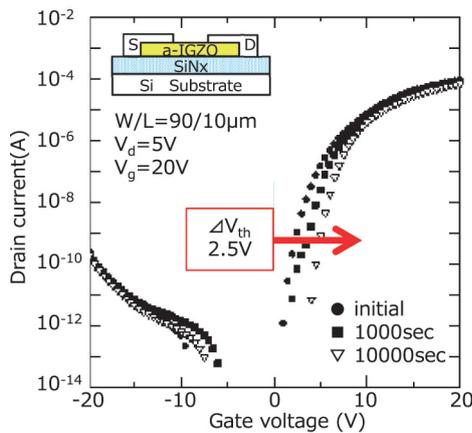


図12 SiH₄とNH₃ガスを用いたSiN_x膜のPBS

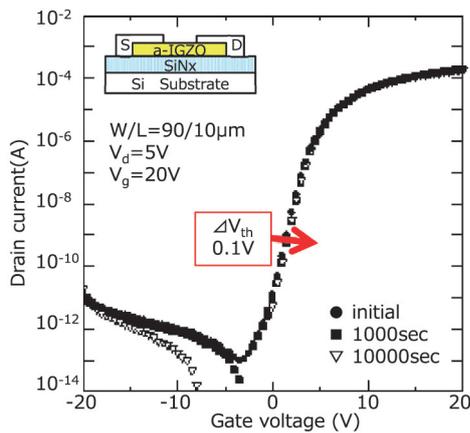


図13 SiF₄とN₂ガスを用いたSiN_x膜のPBS

5. まとめ

高密度プラズマの生成により、ガスの分解性能を高めることが可能な誘導結合型プラズマCVD装置を用いて、基板温度250℃以下で、SiF₄とN₂により形成したSiN_x膜とSiF₄とO₂により形成したSiO_x膜は、膜中水素濃度が非常に低く、絶縁破壊電界強度が高い良好な絶縁膜であり、IGZO-TFTの信頼性を向上できることを確認した。また、第6世代サイズの基板において良好な面内膜厚均一性を確認しており、製造装置として高い生産性を有している。

今後、引き続き、世の中の動向を見ながら、市場の要求に対応できるように装置の開発を進めていく。

参考文献

- (1) K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono : Nature. 432 (2004) 488.
- (2) K. Nomura, A. Takagi, T. Kamiya, H. Ohta, M. Hirano, and H. Hosono : Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 4303.
- (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 (2010) 03CB04.
- (4) S. Fujita, H. Toyoshima, T. Ohishi, and A. Sasaki : Jpn. J. Appl. Phys. 23 (1984) L144.
- (5) 日新電機技報、Vol.58 No.1、p.6(2013.4)
- (6) 日新電機技報、Vol.59 No.1、p.4-5(2014.4)
- (7) 日新電機技報、Vol.60 No.1、p.5-6(2015.4)
- (8) 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)
- (9) 低温ポリシリコン薄膜トランジスタの開発（監修：浦岡行治、シーエムシー出版）
- (10) プレスリリース、Nara Institute of Science and Technology (2013.5)
- (11) H. Yamazaki, Y. Ishikawa, Y. Ueoka, M. Fujiwara, E. Takahashi, Y. Andoh, and Y. Uraoka : AM-FPD.(2013) 43-46.

執筆紹介



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



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



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



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