# ガラス基板媒体



松尾　壮太（まつお　そうた）　増田　克也（ますだ　かつや）　白井　信二（しらい　しんじ）

## 1　まえがき

ハードディスク装置（HDD）市場は，従来のパソコン（PC）主体から本格的なノンPC用途が広がりつつある。2003年は年間出荷台数2億3,000万台に到達し，2007年には4億台まで伸びることが予想されている。その中で，アルミ基板媒体とガラス基板媒体のすみ分けが進み，アルミ基板媒体は主にデスクトップPC，サーバ向け，ガラス基板媒体はノートPC，ノンPC向けとなっている。特に伸びが期待されるのは，ガラス基板媒体の領域であり，2007年度には，およそ半数がガラス基板媒体を用いたHDDとなることが予想される（**図1**）。

富士電機も現状のアルミ基板媒体に加え，ガラス基板媒体の生産拡大を行っていく計画である。

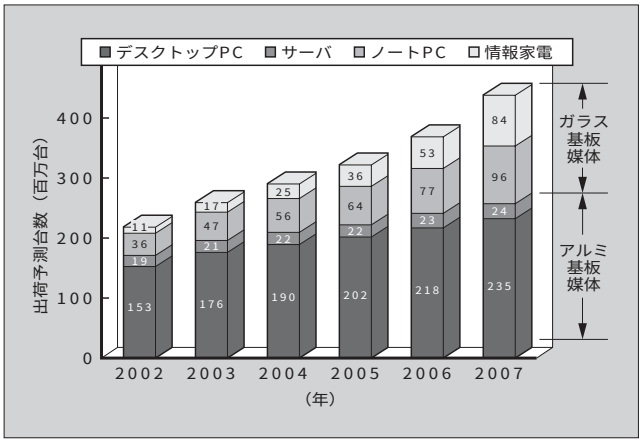
ガラス基板媒体は，その特徴である，

(1)　TMR（Track Miss Registration：磁気ヘッドの位置ずれ）が小さい。

(2)　耐衝撃性が高い。

を生かし，ノートPC用として2.5インチサイズのHDDが主に搭載されている。さらに小径モバイル用HDDが搭載される携帯電話，USBストレージ，MP3プレーヤなども今後急速に増加することが予想される。

図1　HDD市場予測（セグメント別）[1]




携帯電話に代表されるモバイル用途のHDDは，ノートPC対応と比較しさらに過酷な条件での品質安定性が必要である。現在，市場で要求されている項目としては，

(1)　耐環境特性（−20～＋70 ℃）

(2)　耐衝撃性1,000 G

(3)　HDDの厚みをできるだけ薄く（メモリカードなみの3.3 mm厚）

という三つが挙げられる。

富士電機では，2.5インチ用ガラス基板媒体からスタートし，さらに小径のガラス基板媒体につなげるべく技術開発を行っている。

本稿では，富士電機のガラス基板媒体の技術開発について紹介する。

## 2　ガラス基板媒体に要求される品質

現在，開発量産が進められているガラス基板媒体の要求品質とそれを達成するための必要条件を**表1**に示す。

これらを達成するため最も重要な技術開発事項は，電磁変換特性の開発とヘッドディスクインタフェース（HDI）

表1　ガラス基板媒体の要求品質

| HDD要求品質 | | 40Gバイト機種 |
|---|---|---|
| 回転数 | | 5,400 r/min |
| 1インチあたりのビット数 | | 660kビット（サイズ0.038μm） |
| 1インチあたりのトラック数 | | 100kトラック（サイズ0.254μm） |
| 記録密度 | | 66 Gbits/in$^2$ |
| ヘッド限界浮上 | | 4 nm |
| 熱緩和 | | ＜1.20％Decay |
| エラーレート | | ＜−7乗 |
| LULテスト | 55℃/5％RH | 30万回 |
| | 5℃/15％RH | 30万回 |
| コロージョンテスト | | 60℃/80％RH/21日間 |
| 耐環境テスト | | 5～55℃，5～80％RH 5日間 |
| 耐衝撃性 | | 700G（非動作時） |

**松尾　壮太**

磁気記録媒体の製品設計およびガラス基板媒体の製品化推進に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)製品開発部課長。

**増田　克也**

ガラス磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)製品開発部。

**白井　信二**

磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)製品開発部。

技術の開発である。富士電機は，ガラス基板媒体を異方性媒体とすることで上記要求品質を満たす技術開発を達成している。

## 3　ガラス異方性媒体

従来，ガラス基板媒体は，表面にテクスチャ処理を行わずに作製する方法が主流であり，これらは等方性媒体といわれている。

一方，アルミ基板媒体は，アルミ合金の上に NiP がめっきされ，テクスチャが施されている。磁気記録層をテクスチャ方向に配向させており，その結果，円周方向の $M_r t$（残留磁化）が高く，同じ磁性層膜厚でも高い出力が得られることがメリットとなっている。

このために，アルミ基板媒体は，ガラス基板媒体に比べ媒体雑音が小さく，SNR（Signal/Noise Ratio）特性が良いものとなっている。

SNR 特性は HDD のエラーレートに直接影響することから，アルミ基板媒体と同様にガラス基板媒体を異方性媒体にできれば，記録密度の向上に対して効果的である。

### 3.1　ガラスダイレクトテクスチャ技術開発

当初，ガラス基板媒体はガラス基板上に NiP の成膜を行い，テクスチャが施されたアルミ基板媒体の構成と同一のプロセスが各社で開発されていた。アルミ基板媒体と同じく NiP を成膜後テクスチャを行うことは，異方性媒体としての特性は満足できるが，**図 2** に示すように，従来のアルミ基板媒体のプロセスに比較し，洗浄と NiP 成膜を行う工程を追加する必要があり，コストが上がる欠点がある。

アルミ基板媒体と同じプロセスでガラス基板媒体を作製するためにはガラス基板に直接テクスチャを行うことが必要である。しかし，ガラス基板にテクスチャを行い成膜を行っても単純には異方性媒体とならない。

そこで富士電機では，ガラス基板に対するテクスチャ技術の開発とシード層の最適化を行い，問題を解決した。

#### 3.1.1　テクスチャ技術の開発

ガラス基板にテクスチャを行う際，本来，テクスチャとして必要な要求品質と異方性を向上させるために必要な項目の両立が必要となる。

その要求品質は，

(1)　表面粗さの低減
(2)　均一性向上（スクラッチ，リッジ）
(3)　テクスチャライン密度の最適化
(4)　テクスチャ先端半径の最適化

となる。

(1)は，磁気ヘッドの浮上特性に影響する。表面粗さを低減し，ヘッドと媒体間のスペースを確保する。

(2)は，信号欠陥やヘッド素子の損傷の低減に寄与する。表面に深いスクラッチがあれば，その部分のスペースが広がることで出力が低下する。リッジ（帯状に高い突起）があれば，ヘッドが接触あるいは接触しなくても急激な浮上姿勢の変化により出力異常を起こす。

(3)，(4)は，$M_r t$–OR（残留磁気膜厚積の配向比）の向上に寄与する。アルミ基板媒体は NiP 層にテクスチャを行うことで NiP の熱膨張によるひずみが大きく，磁性層が配向しやすい。ガラス基板に直接テクスチャを行う場合，表面硬度が高く熱膨張による形状的ひずみが小さいため，異方性を確保するには，テクスチャを緻密（ちみつ）に行い，単位長さに対するテクスチャ本数である線密度を高くすることが必要である。同時に線密度が高い場合，先端半径も小さくなる。この効果により**図 3** に示すような高い $M_r t$–OR が達成できるようになる。

上記の項目を満足するため，ガラス基板媒体専用の研磨剤と研磨テープまた加工条件を最適化することで，現在，**図 4** に示すとおり，要求品質を満足する表面形状を達成している。さらに，ガラス基板の材質が違うものでも同等の形状を作製できるようになっている。

#### 3.1.2　シード層の開発

テクスチャによる異方性媒体の効果について述べてきたが，テクスチャだけでは，要求品質を満足する $M_r t$–OR を確保することはできない。シード層との組合せが重要である。

富士電機では，アルミ基板媒体が，NiP のアモルファス膜を用いていることが $M_r t$–OR に関連していることに注目し，シード層のアモルファス化を検討してきた。

図 2　プロセス比較

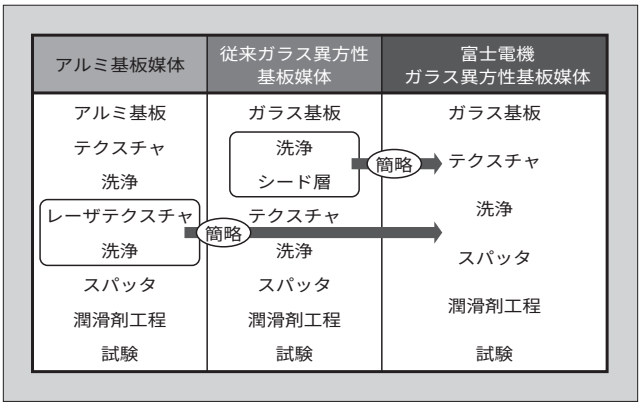
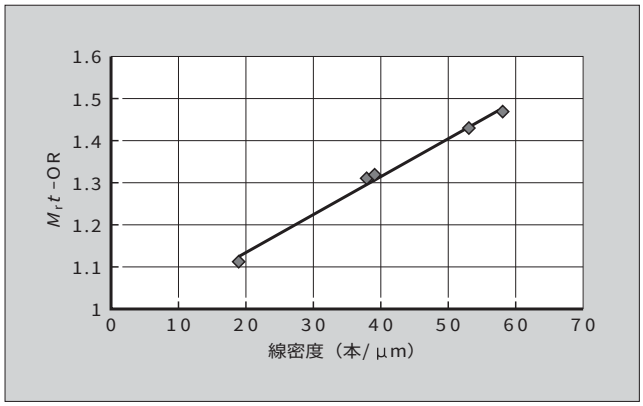



図 3　線密度と $M_r t$–OR の関係



重要なファクタは，

(1)　シード層の材質

(2)　シード層の膜厚比率

(3)　反応ガスの制御

となる。

(1)では，ガラス基板表面との密着性が高く，テクスチャに配向しやすい材質を選ぶことが重要である。また下地層が面内でテクスチャに沿って（200）配向に誘導されるものを選ぶ必要がある。

(2)では，シード層の膜厚を最適化することで高い配向が得られる条件を設定する。

(3)では，アモルファス化を誘導するガス種と導入量の最適化が必要となる。

(1)，(2)，(3)の組合せを最適化することで，**図5**に示す高い $M_r t$–OR を達成することが可能となった。今後，記録密度の上昇に従って，テクスチャで形成する粗さは小さくなり配向しずらくなる中，シード層の最適化を進めトータルでの高 $M_r t$–OR の達成を図る必要がある。

### 3.2　AFC 構造磁性層

ガラス基板媒体は前述のシード層の上にアルミ基板媒体と同様の下地層，安定化層，Ru 層，磁性層で構成される AFC（Anti–Ferromagnetic Coupling）構造（**図6**）を有する。特にガラス基板媒体は，HDD の要求品質から磁性層が薄く，分解能，ノイズが小さいものが必要となる。しかし，磁性層が薄くなると外部高温環境により減磁が生じ出力が低下する（熱緩和）可能性が高くなる。これらを解決するためには，熱緩和特性に関する式 $K_u V/k_B T$ を大きくすることが重要になる。$K_u$ は結晶磁気異方性定数，$V$ は磁性層の活性化体積に対応する。$k_B$ はボルツマン定数，$T$ は絶対温度である。同じ磁性層を用いた場合，$K_u$ は一定であるので，$V$ を大きくすることが必要である。$V$ を大きくすると磁性層が厚くなりノイズが大きくなる。AFC 構造では，磁性層の一部が安定化層に用いた磁性層の磁化の強さに対応した磁気的な相互作用により，磁性層と安定化層を加えたものが磁性層の $V$ となり，熱緩和特性を向上させる。

富士電機では，安定化層に低ノイズかつ磁気的な相互作用の最適な多元組成磁性層を用いることで，**図7**に示すとおり従来に比較し熱安定性が高い特性を確保した。さらに磁性層を2層化することにより，低ノイズ特性，書込み特性の両立を達成した（**図7**参照）。これらは，前述の $M_r t$–OR とも関連して，$M_r t$ を大きくしても磁性層の膜厚を従来ガラス基板媒体に比べ薄くできることを意味する。

図4　ガラス基板媒体の表面形状（AFM）

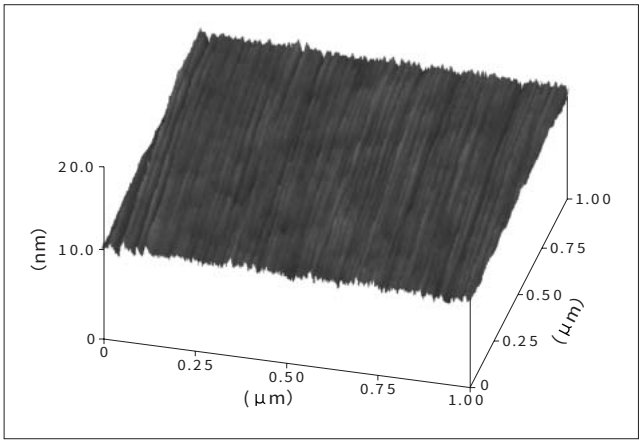



図5　シード層成膜の重要因子と $M_r t$–OR の関係

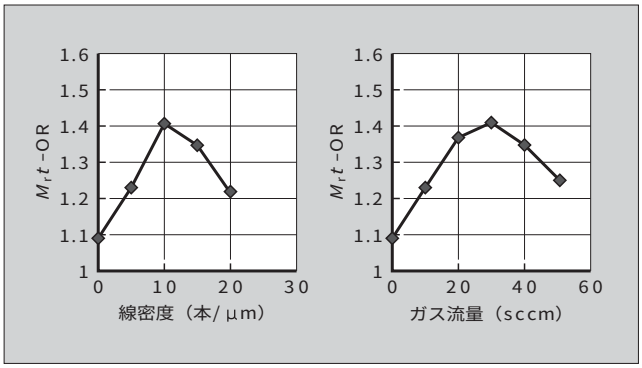



図6　AFC 構造磁性膜

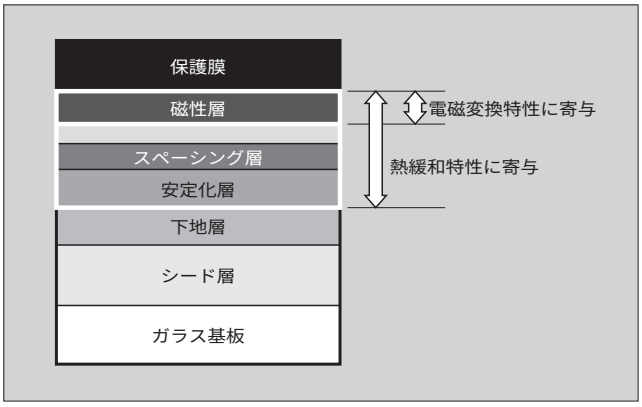
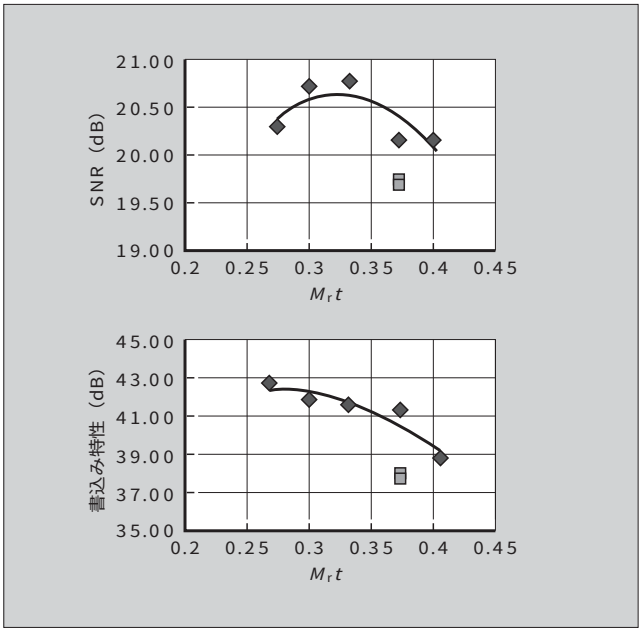



図7　富士電機製ガラス基板媒体の書込み特性と SNR 特性



現在，富士電機が作製し，顧客に展開しているガラス基板媒体は，出力が高くアルミ基板媒体に匹敵する電磁変換特性が得られている。

## 4　ガラス基板媒体の HDI 技術

### 4.1　ガラス基板媒体の HDI 方式

ガラス基板媒体，アルミ基板媒体双方に対して同じ記録密度においては，ほぼ同等の浮上品質が求めらているが，根本的に異なる点は，HDD の HDI 方式である。

ガラス基板媒体は，**図8**に示す LUL（Load Unload）方式を用いており，アルミ基板媒体に比較し，ヘッドが表面に接触しないことが大きな違いとなっている。アルミ基板媒体は，CSS（Contact Start Stop）方式を用い，電源オンオフ時に表面接触を起こす。その際ヘッドと媒体表面で摩擦を生じる。一方でヘッド側に付着した液体潤滑剤（ルブ）が媒体側に戻る現象が起こる。逆にガラス基板媒体は常にヘッド側にルブが付着し続ける。付着したルブは限界を超えるとヘッドの浮上特性を不安定にさせ，場合によると浮上が確保できずに媒体表面に衝突する。

したがって，ガラス基板媒体とアルミ基板媒体に要求される HDI 品質は異なる。ガラス基板媒体に必要な HDI 品質は次のとおりである。

(1)　ヘッドにルブが付着しないこと。

(2)　ヘッドが表面に衝突してもきずがつかないこと。

(1)は，保護膜とルブの付着力が関係する。また，付着せず自由に動くフリー層を適した膜厚に制御することが重要になる。付着力を高めてフリー層を少なくし，ヘッドにルブが付着しないようにする一方で，フリー層の流動性を制御して，ルブ膜厚が LUL 動作時に変動しない特性にすることが必要である。

富士電機では，上記品質を達成するため保護膜の膜質，潤滑剤の分子量，極性制御，添加剤の最適化を行い，これらの技術で特許（USP6730403，富士整理No.99P01607）を取得している。

### 4.2　保護膜技術

保護膜に求められる要求品質は，次のとおりである。

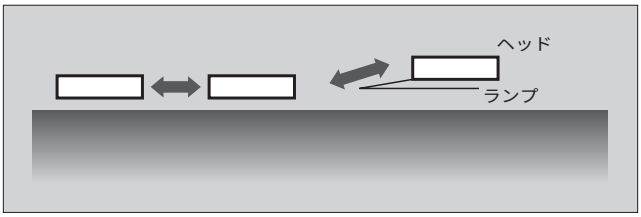
(1)　LUL に対する耐久性

(2)　ガス吸着特性対策

(3)　ガラス基板および磁性層からのコロージョン対策

(1)は，潤滑剤との密着性とも関連しており，具体的説明は，**4.3**節で行う。

図8　LUL 方式




(2)は，表面に腐食性ガスを付着させない不活性面にすることが必要であり，表面を窒化することで達成される。

(3)は，緻密な保護膜を用いる必要がある。

上記の要求品質を満足するため，富士電機では 2 層保護膜を用いている。**図9**および**図10**に示すとおり，第 1 層に CVD（Chemical Vapor Deposition）膜を用いてコロージョンを抑制し，第 2 層に a-C：N 膜を用いてガス吸着抑制を行っている。

### 4.3　潤滑剤技術

ルブのヘッド付着を抑制するため保護膜との結合性の高い潤滑剤を使用し，流動性を制御するため分子量の分布制御と極性制御を行っている。評価に加速評価を行い過酷な条件でもルブ膜厚の変化が発生しにくいものに制御している。**図11**に示すようにヘッドが安定浮上しない環境を故意に設定し，10 万回 LUL 動作を行ってもルブ膜厚が安定す

図9　Co コロージョン特性

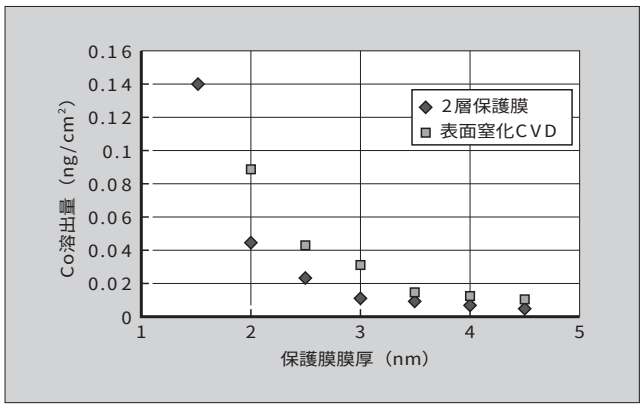



図10　保護膜によるガス吸着性

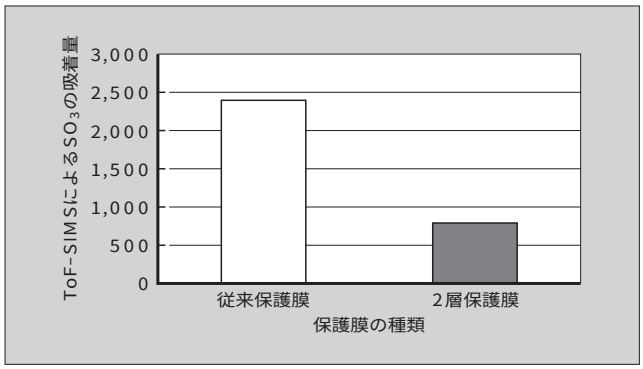
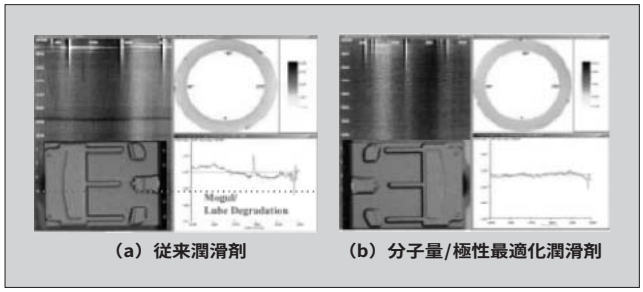
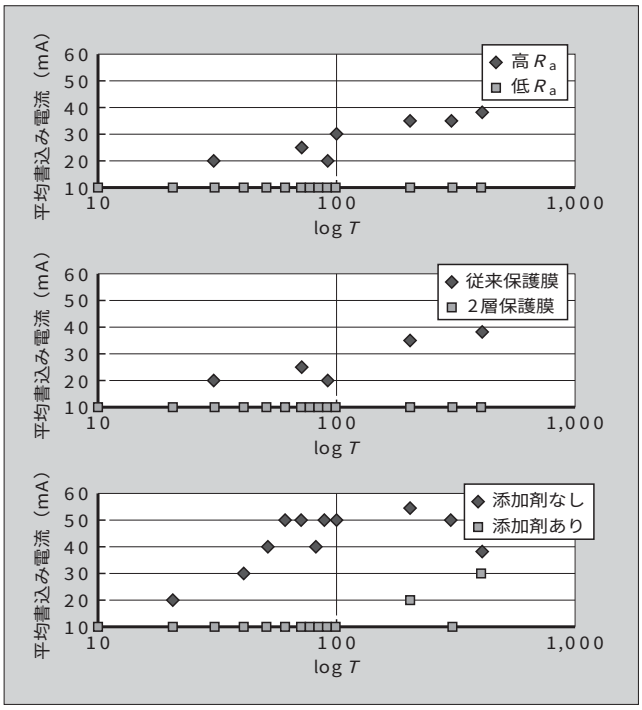



図11　高速 LUL テスト（1 サイクル： 0.12 秒）




（a）従来潤滑剤　　（b）分子量/極性最適化潤滑剤

図12　ヘッドダメージテスト




る HDI 特性を確保している。また，今後ヘッドの浮上が低くなる中，表面にヘッドが接触する可能性が高くなる。表面に接触した場合でもきずが生じない表面耐久性とヘッドがきずつかない衝撃緩和性の両立が必要となる。富士電機では前述した低 $R_a$（平均粗さ）化，2 層保護膜化，新ルブ添加剤により解決している。さらに**図12**は，ヘッドにきずがつきやすいか否かを確認する試験結果を示す。添加剤ありは，ヘッドにきずがつきにくく，また低 $R_a$，2 層保護膜も同様にきずがつきにくい特性を示している。

富士電機では，次世代の低浮上領域での HDI 品質を達成するため，潤滑剤の最適分子量や極性制御技術を開発している。

## 5　あとがき

富士電機では，アルミ基板媒体プロセスの採用によってシナジー効果が得られるガラス基板媒体でコスト低減を達成し，前述の技術開発の成果を生かした 60 Gbits/in$^2$ 製品の量産を開始する。これまでのアルミ基板媒体に加えガラス基板媒体を製品ラインアップに加えることで，今後拡大するノン PC HDD に対してビジネス機会を獲得していく。特に，今後立ち上がる携帯電話に代表されるノン PC HDD は，使用環境も厳しく，またコスト要求も厳しいものとなっている。これまでの技術開発に加え，さらなる環境特性の向上とスループットの飛躍的な向上などによるコスト削減を進め，この分野でシェア No.1 となるべく開発に取り組んでいく所存である。

### 参考文献

(1)　2004 年 IDC 市場予測．2004.
(2)　増田克也ほか．ガラス磁気ディスク媒体の開発．富士時報．vol.75, no.3, 2002, p.165-168.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。