

「超高密度ナノビット磁気記録技術の開発」
(事後評価) 第1回分科会資料5-3

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発

(事後評価)

(2008年度～2012年度 5年間)

4. プロジェクトの概要説明 (公開)

研究開発成果／実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

NEDO技術開発機構
電子・材料・ナノテクノロジー部

2013年11月27日

4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」

(1) 事業の位置付け・必要性

(2) 研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1) 研究開発成果

(2) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

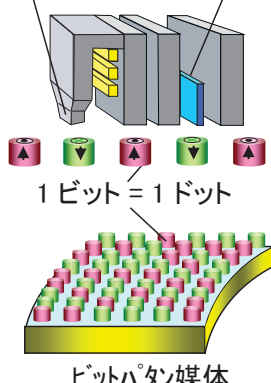
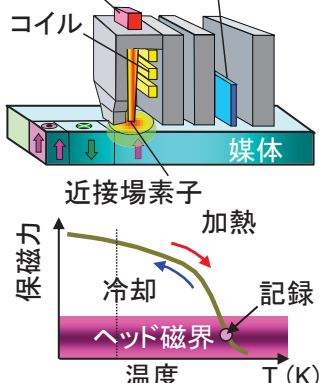
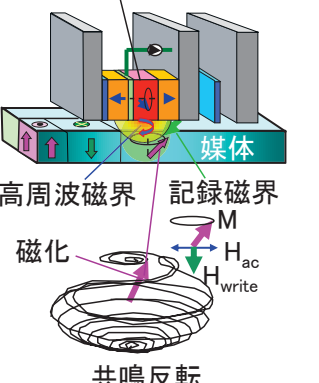
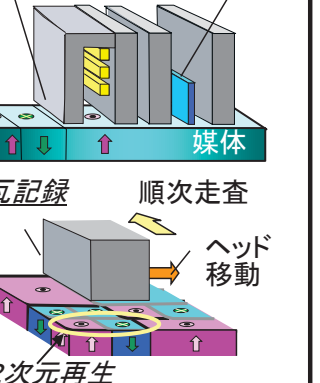
4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

4大高密度化方式の研究開発課題と分担

- 2.5 Tb/in²: ビットパターン記録(富士通→東芝主導) or エネルギアシスト記録(日立主導)
- 5 Tb/in²: ビットパターン記録 & エネルギアシスト記録 (共同)

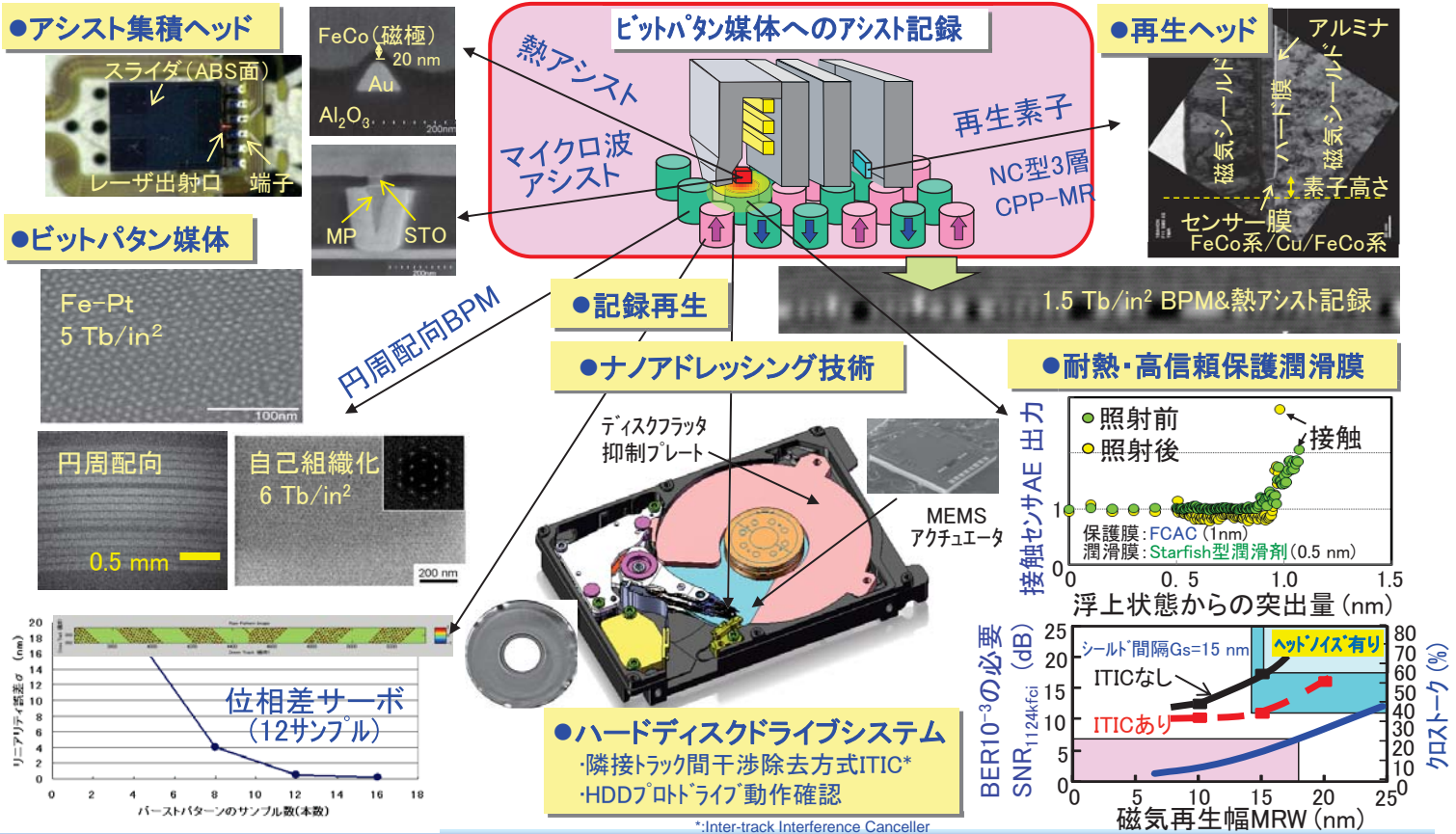
(課題オーナー) 青:本プロジェクト、黒:企業

| 方式 | (a) ビットパターン媒体記録 2.5 Tb/in ² 東芝主担当 5 Tb/in ² : ビットパターン記録 & エネルギアシスト記録 (共同) | (b) 熱アシスト記録 2.5 Tb/in ² 日立・日立GST主担当 | (c) マイクロ波アシスト記録 | (d) 瓦記録/2次元再生 企業独自開発 |
|--|---|---|--|--|
| 基本概念 | 整列した孤立粒子に1ビットずつ記録  主磁極 再生素子 1ビット=1ドット ビットパターン媒体 | 高熱安定性媒体にエネルギーを加えて反転促進 近接場光エネルギアシスト  レーザ 再生素子 コイル 媒体 近接場素子 加熱 冷却 記録 ヘッド磁界 温度 T(K) | 高周波(マイクロ波)磁界アシスト  高周波磁界発生素子 媒体 高周波磁界 記録磁界 磁化 M H _{ac} H _{write} 共鳴反転 | 瓦状に重ね書きして狭トラック化  瓦書き磁極 再生素子 媒体 ・瓦記録 順次走査 ・2次元再生 ヘッド移動 |
| 主要技術 | 1.超平滑・整列パターン媒体 2.パターン位置同期記録技術 3.ナノアドレッシング技術 1.記録機構、2.高分解能・高感度ヘッド・素子、3.超微細結晶粒媒体・材料・磁気物性、4.高度信号処理、5.高信頼化 | 1.近接場素子・効率光学系 2.熱アシストヘッド・インテグレーション 3.高Ku耐熱媒体(保護潤滑) 1.耐熱基板生産投資 | 1.低分散・低ダンピング媒体 2.マイクロ波発振微小素子 3.R/Wインテグレーション 1.フィージビリティ早期確認 | 1.上位システムとの連携 2.ガーベージコレクション時性能劣化対策、パフォーマンス確保 |
| 事業 | 1.パターン化設備巨額投資 2.新規プロセス導入による媒体生産工場拡張 | 1.レーザ供給確保 2.光学系付加コスト低減 | 1.フィージビリティ早期確認 | 1.メモリ付加コスト低減 2.TDMR、他方式との組合せ等による拡張性確保 |
| 1.早期フィージビリティ確認・方式選定、2.デファクト化と優位化の推進、3.量産設備・技術開発および投資 | | | | |

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

成果の代表例と意義

- シミュレーションでナノビット媒体へのエネルギーアシスト記録により6~8 Tb/in²級HDDのフィージビリティ確認。
- ナノビット媒体、ナノアドレッシング技術を基にHDDプロトドライブを試作し、原理動作を検証。



成果の代表例と意義

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

- 媒体/ヘッド/アドレッシング/信号処理などのナビット個別要素技術の仕様に基づき、2.5 Tb/in²、及び5 Tb/in²HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定、検証。
- 5 Tb/in²の磁気記録密度(2.5インチディスク一枚の記憶容量で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時における単位情報量当たりの消費電力0.3 W/TB 以下が実現可能なことを検証。
- 2.5 Tb/in²級はビットパタン記録もしくはエネルギーアシスト記録、5 Tb/in²級はその組合せで実現可能な事を検証、文部科学省との合同プロジェクトなどで情報発信(新聞発表含む)、開発の方向付けを実施。

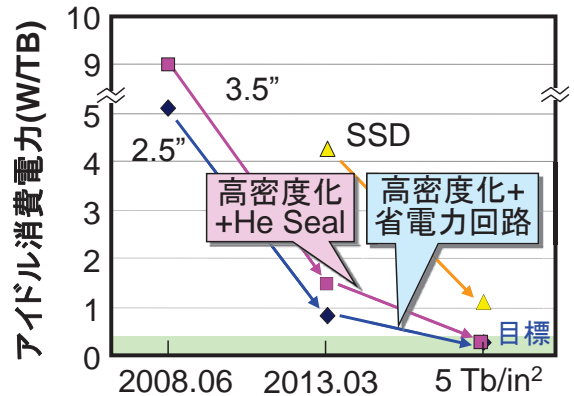
表. 2.5, 5 Tb/in²マクロスペック概要

| 目標面密度 | 2.5 Tb/in ² | | 5 Tb/in ² |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | アシスト記録 | ビットパタン記録 | アシスト記録+ビットパタン |
| 記録方式 | アシスト記録 | ビットパタン記録 | アシスト記録+ビットパタン |
| ビット面積 | 258 nm ² | ← | 129 nm ² |
| トラックピッチ | 25.4~32.0 nm | 16.0~22.7 nm | 11.3~16.0 nm |
| ビットアスペクト比 | 2.5~4.0 | 1.0~2.0 | 1.0~2.0 |
| 再生ヘッド幅(幾何) | 20 ~ 30 nm | 15 ~ 20 nm | 10~15 nm** |
| アシスト方式 | 熱/高周波磁界(TAMR/MAMR) | --- | 熱/高周波磁界(TAMR/MAMR) |
| アシストスポット径 | 20~30 nm | --- | 10~20 nm |
| グレイン径/ドット径 | ~ 5 nm | 8~11 nm | 5~7 nm |
| 磁気異方性(Ku) | > 1.4~1.7 MJ/m ³ | > 0.4~0.5 MJ/m ³ | > 1.7~3.4 MJ/m ³ |
| 媒体材料径候補 | 規則化合金等 | CoCrPt系等 | 規則化合金等 |
| 記録磁界 | > ~5 kOe | > ~5 kOe | > 5 kOe |

**：磁気トラック幅18 nm、ギャップ長18 nm

5 Tb/in²技術を開発することにより、プロジェクト発足当初の記録密度250 Gb/in²の20倍の高密度化を図り、2.5型HDDにおいては省電力回路方式*と、3.5型HDDにおいてはHeシール方式*とを併せ、アクティブアイドル時の消費電力として0.3 W/TBを実現可能なことを検証。

*：自社開発。高密度化が主要技術。



成果と目標達成度

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

■ 日立担当 ■ 東芝担当 ◎ 大幅達成 ○ 達成

| サブテーマ | 個別テーマ | 最終成果(2012年度) | 達成度 | 今後の課題 |
|-----------------------|----------------------|--|-----|------------------|
| ① 超高密度ナビット磁気媒体技術の研究開発 | (1) ナビット微細加工技術の研究開発 | 6 Tb/in ² 自己組織化技術開発。FePt 5 Tb/in ² FePtナビット試作媒体においてビット配置精度±4.5 nm、円周方向無欠陥配列(SEM 10万倍視野)確認。これらの知見を基にプロトHDD用媒体試作。2.5"媒体面内における少なくとも30トラックで、2.5 Tb/in ² 相当のナビット(面積~200 nm ²)への位置決め精度が3σで6.7 nm以内であることを確認。 | ◎ | 量産化 信頼性・歩留り向上 |
| | (2) 単一ナビット記録性の検証 | 6~8 Tb/in ² の面密度に対応するナビット媒体において、磁化反転制御可能、かつ、周辺ナビットの磁気情報に影響がなく、単一磁化反転が可能であることを確認。 | ◎ | |
| | (3) ナビット媒体界面技術の研究開発 | 5 Tb/in ² 級ナビット媒体に対し、保護膜平坦化により2.5"径媒体における表面凹凸≤±5 nmを確認し、さらに新規開発のFCAC保護膜、Starfish型潤滑膜の組合せで、5 Tb/in ² 熱アシスト記録に必要な保護・潤滑膜厚≤1.6 nmでの信頼性を確保。 | ○ | |
| ② 超高性能磁気ヘッド技術の研究開発 | (1) 強磁場発生記録ヘッドの研究開発 | マイクロ波アシスト機構搭載強磁場発生ヘッドで6~8 Tb/in ² ナビット媒体に記録可能な磁場を発生可能なことを確認、アシスト機構を組込む記録ヘッド集積技術を構築。 | ◎ | |
| | (2) エネルギーアシスト機構の研究開発 | アシストエネルギーで5 Tb/in ² に対応する単一ナビット磁化反転が可能で、かつ各々の照射に際して周辺ナビットにおける磁気情報に影響がないことをシミュレーションで確認し、さらに近接場素子搭載熱アシスト集積ヘッドを試作。また15 nm級スピントルク発振素子による6 Tb/in ² マイクロ波アシスト記録の実現可能性も確認。 | ◎ | |

成果と目標達成度

公開

Ⅲ-(1) 目標の達成度と成果の意義

■ 日立担当 ■ 東芝担当 ◎ 大幅達成 ○ 達成

| サブテーマ | 個別テーマ | 最終成果(2012年度) | 達成度 | 今後の課題 |
|--------------------------|---------------------------|--|-----|------------------|
| ②超高性能磁気ヘッド技術の研究開発 | (3)高感度・高分解能再生ヘッドの研究開発 | 新規ナノコンタクトMRセンサーを試作し、抵抗変化率35%、面抵抗0.15 Ω μ m ² の値から5 Tb/in ² が信号処理の工夫で可能であることをシミュレーションで検証。また極薄3層構成ヘッドを試作し、5 Tb/in ² の再生分解能を確認。 | ○ | 信頼性・歩留り向上 量産化 |
| | (4)ヘッド動作の検証 | 熱アシスト集積ヘッドが 5~20 m/sにおいて5 nm以下で安定浮上し、5 Tb/in ² 対応媒体への熱アシスト記録動作を確認し、またマイクロ波アシスト機構付き記録ヘッドでもその記録動作を確認。さらにナノコンタクトMR型極薄3層再生ヘッドを試作し、5 nm以下の安定浮上性と5 Tb/in ² の再生分解能を確認。 | ○ | |
| ③超高精度ナノアドレッシング技術の研究開発 | (1)超精密位置決め技術の確立 | ナノビット媒体において上記ヘッドが7 nm以下で安定浮上することを確認するとともに、世界で初めてナノビット媒体実装プロトHDDでトラックフォローイングを行い、位置決め精度4.4 nm以下を確認。 | ◎ | 周辺技術・部品 量産化 |
| | (2)ナノアドレッシング技術のシミュレーション開発 | 5 Tb/in ² 向け位置決め制御系仕様及び流体振動低減目標を策定し、開発したシミュレーション及びアームサスペンション風乱の実測評価により、目標のナノアドレッシング仕様の実現可能性を確認。 | ○ | |
| ④ハードディスクドライブシステム化技術の研究開発 | (3)システム化とHDD性能の検証 | 上記の個別要素技術仕様に基づき、2.5、5 Tb/in ² HDDシステムの概略仕様をシミュレーションにより策定・検証し、ナノビット媒体へのエネルギーアシスト記録による6~8 Tb/in ² 級HDDの実現可能性を確認。さらにナノビット媒体搭載HDDプロトドライブを試作し原理動作を検証。これらにより、5 Tb/in ² (2.5" ディスク一枚で3 TB以上)、かつアクティブアイドル時の消費電力0.3 W/TB以下を実現できることを検証。 | ◎ | |

事業原簿 Ⅲ-5~6

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 事後評価分科会(平成25年11月27日)

7/14

成果の普及および他技術との比較

公開

Ⅲ-(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

| 成果 | 2008年度 | 2009年度 | 2010年度 | 2011年度 | 2012年度 | 合計(件) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 特許出願 | 3 | 13 | 36 | 56 | 40 | 148 |
| 論文 | 2 | 13 | 43 | 31 | 19 | 108 |
| 研究発表・講演 | 11 | 60 | 77 | 69 | 56 | 273 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 新聞*・雑誌等掲載 | 1 | 3 | 11 | 2 | 2 | 19 |
| 展示会・発表会出展 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1** | 8 |

* 日経 2010.8.16、日経2010.9.21
日経夕刊 2008.6.30、日経夕刊 2009.8.25、
日経産業 2009.9.3、日経産業 2010.2.2、日経産業2010.4.8、
電波新聞 2010.8.26、日経 2011.8.29、化学工業日報朝刊 2013.5.28、など

**日本のHDD技術関連の主要企業、大学のキーメンバが集うSRC#技術報告会において、NEDO-PJ成果に関する特別講演を実施し、広く普及に努めた。
#: Storage Research Consortium (1995-)、産学連携組織、
<http://www.srcjp.gr.jp/index.htm>

| 比較項目 | 次世代技術 | 本プロジェクトのHDD技術 | | ビットパターン媒体技術 | SSD技術 |
|----------|-------|----------------|-------|-------------|-------------------------|
| | | アシスト記録技術 | 熱アシスト | | |
| 技術の優位性# | | A | AA | AA | - |
| 必要投資の大きさ | | 中 | 小 | 大 | 膨大 |
| 対象市場 | | ・ビッグデータ対応ストレージ | | | ・モバイルストレージ ・超高速ストレージ |

#対Seagate技術ベンチマーク(各種発表、特許、など) AA:非常に優位、A:優位

事業原簿 Ⅲ-7 補足

超高密度ナノビット磁気記録技術の開発 事後評価分科会(平成25年11月27日)

8/14

開催日： 2012年3月12日(月)
 会場： 中央大学 駿河台記念館
 共催： NEDO
 東北大学電気通信研究所
 「高機能・超低消費電力コンピューティングのための
 デバイス・システム基盤技術の研究開発」
 後援： 文部科学省、経済産業省
 協賛： (社)日本磁気学会



150名が参加



4. プロジェクトの概要説明

4-1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」

(1) 事業の位置付け・必要性

(2) 研究開発マネジメント

4-2 「研究開発成果」及び「実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み」

(1) 研究開発成果

(2) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み

4-3 プロジェクトの概要全体を通しての質疑

本プロジェクトの目標、達成度と実用化・事業化のイメージ

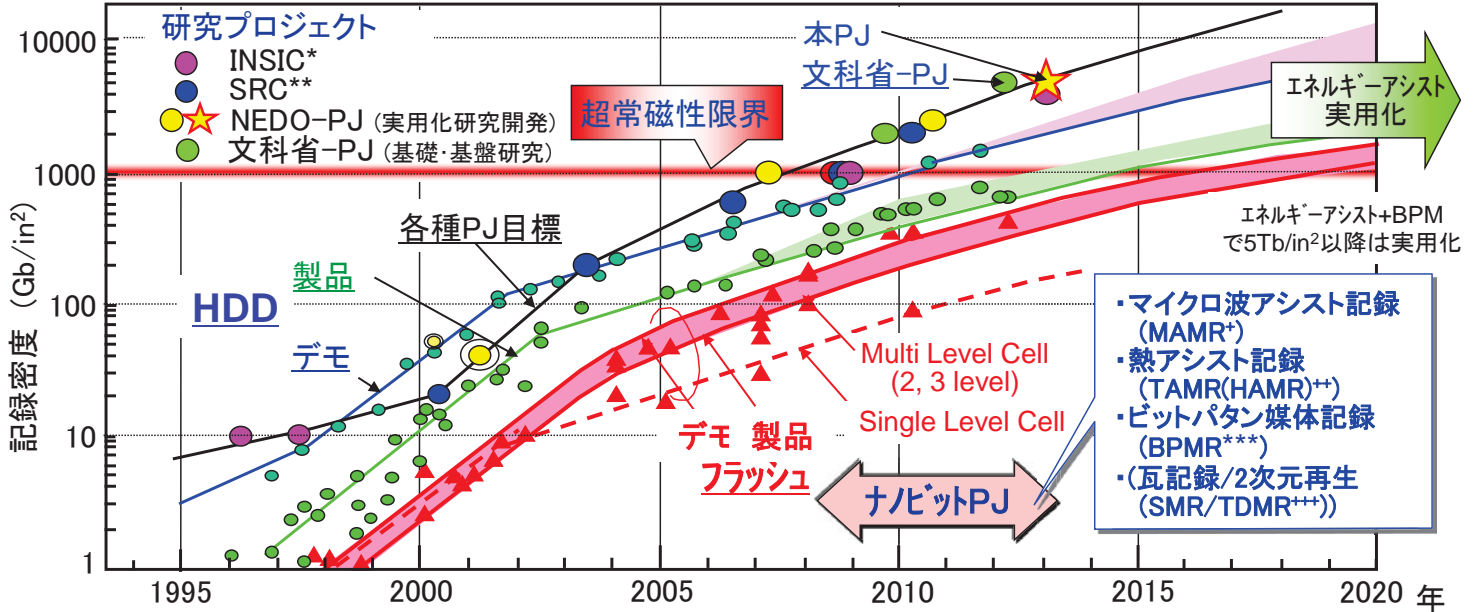
公開

(1) 目標と達成度

2010年度までに2.5 Tb/in²、2012年度までに5 Tb/in²対応の個別要素技術を開発し、単位情報当りの消費電力0.3 W/TB以下が実現可能なことを検証する事で、地球温暖化対策へ貢献すると共に、磁気記録分野における国際的イニシアチブの獲得をめざす。
⇒大幅達成

(2) 実用化・事業化のイメージ

本プロジェクト開発技術が高密度化に必須。2 Tb/in²弱から世界に先駆けてHDD製品化(～2017年)。5 Tb/in²級HDDは、エネルギーアシスト記録とビットパターン媒体の組合せにより2020年頃の製品化を見込む。



*: Information Storage Industry Consortium, **: Storage Research Consortium, ***: Bit Patterned Magnetic Recording, +: Microwave Assisted Magnetic Recording, ++: Thermally (or Heat) Assisted Magnetic Recording, +++: Shingled Write Magnetic Recording/Two Dimensional Magnetic Recording

技術動向、本プロジェクトの先進性と、実用化・事業化見通し

公開

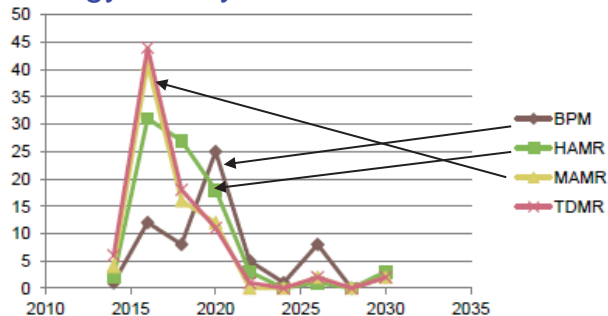
- HDD関係のIEEE国際会議TMRC 2013で、HDD業界関係者による実用化時期アンケートで、マイクロ波アシスト、熱アシスト記録は2017年、ビットパターン媒体は2019年に実用化されるとの見通しが示された。
- 以上から本プロジェクトの目標、成果は適切かつ先進的で、実用化・事業化は確実と考えられる。

HDD novel technology survey

<http://www.tmrc2013.riec.tohoku.ac.jp/>
Overall N=134

| | BPM | HAMR | MAMR | TDMR |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Yes will ship | 48% | 66% | 61% | 65% |
| No will not ship | 40% | 29% | 28% | 23% |
| Don't know | 12% | 5% | 10% | 12% |
| Date shipment | 2019.9 | 2017.9 | 2017.1 | 2017.1 |
| sigma | 3.5 | 3.2 | 3.0 | 3.1 |

本プロジェクト(記録) 再生方式



Academia N=29

| | BPM | HAMR | MAMR | TDMR |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Yes | 55% | 76% | 59% | 62% |
| No | 34% | 14% | 31% | 24% |
| Don't know | 10% | 10% | 10% | 14% |
| Date | 2018.7 | 2016.2 | 2018.1 | 2016.3 |
| sigma | 2.7 | 1.9 | 2.8 | 2.0 |

Japan N=74

| | BPM | HAMR | MAMR | TDMR |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Yes | 36% | 58% | 54% | 57% |
| No | 49% | 35% | 34% | 28% |
| Don't know | 15% | 7% | 12% | 15% |
| Date | 2019.6 | 2018.3 | 2018.0 | 2017.5 |
| sigma | 4.3 | 3.6 | 4.0 | 3.2 |

Industry N=95

| | BPM | HAMR | MAMR | TDMR |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Yes | 44% | 62% | 62% | 65% |
| No | 43% | 34% | 31% | 24% |
| Don't know | 13% | 4% | 7% | 11% |
| Date | 2020.5 | 2018.6 | 2016.9 | 2017.5 |
| sigma | 3.7 | 3.4 | 3.2 | 3.3 |

US N=40

| | BPM | HAMR | MAMR | TDMR |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Yes | 80% | 93% | 85% | 93% |
| No | 13% | 8% | 8% | 5% |
| Don't know | 8% | 0% | 8% | 3% |
| Date | 2020.1 | 2017.1 | 2016.2 | 2016.3 |
| sigma | 3.1 | 1.8 | 1.3 | 2.0 |

プロジェクト終了時の、早期実用化・事業化の課題と対応策

公開

● マイクロ波アシスト記録技術はシステム完成度の向上、熱アシスト記録技術はフィールド信頼性の確保、ビットパタン媒体技術は量産設備・技術、周辺回路開発などが早期実用化・事業化に向けた課題。

| 方式 | (a) ビットパタン媒体記録 2.5 Tb/in ² 東芝主担当 6 Tb/in ² : ビットパタン記録 & エネルギーアシスト記録 (共同) | (b) 熱アシスト記録 2.5 Tb/in ² 日立・日立GST主担当 | (c) マイクロ波アシスト記録 | (d) 瓦記録/2次元再生 |
|------|--|--|---|---|
| 基本概念 | <p>整列した孤立粒子に1ビットずつ記録</p> <p>主磁極 再生素子</p> <p>1ビット = 1ドット</p> <p>ビットパタン媒体</p> | <p>高熱安定性媒体にエネルギーを加えて反転促進</p> <p>近接場光エネルギーアシスト</p> <p>レーザ コイル 再生素子</p> <p>媒体</p> <p>近接場素子 加熱</p> <p>冷却 記録</p> <p>ヘッド磁界 温度 T (K)</p> | <p>高周波(マイクロ波)磁界アシスト</p> <p>高周波磁界発生素子</p> <p>媒体</p> <p>高周波磁界 記録磁界</p> <p>磁化 M H_{ac} H_{write}</p> <p>共鳴反転</p> | <p>瓦状に重ね書きして狭トラック化</p> <p>瓦書き磁極 再生素子</p> <p>媒体</p> <p>・瓦記録 順次走査</p> <p>・2次元再生 ヘッド移動</p> |
| 技術 | <p>1.量産設備・プロセス開発</p> <p>2.高精度制御周辺LSI化</p> | <p>1.フィールド信頼性確保</p> <p>1.低温形成媒体材料・プロセス開発、2.耐熱基板開発</p> | <p>1.システム完成度向上</p> | <p>1.メモリ付加コスト低減</p> <p>2.パフォーマンス安定性確保</p> |
| 事業 | <p>1.パタン化量産設備開発</p> <p>2.新規プロセス導入による媒体生産工場拡張</p> | <p>1. HGA組み立て設備投資</p> <p>2. レーザ供給確保</p> <p>1.耐熱基板生産投資</p> | <p>1.設備増強投資</p> | <p>1.市場性見極め</p> |
| | 1.方式見極め、デファクト化と優位化、2.プロト・量産設備投資 | | | 1.標準化 |

社会への具体的な貢献

公開

- (1) 5 Tb/in²級技術をコア技術として、情報爆発、ビッグデータ時代を支える大容量ストレージを実現することで、スマートコミュニティ実現に貢献する。(例)2.5”HDD:10 TB/2枚、3.5”HDD:10 TB/枚
- (2) 単位情報当たりの消費電力を現状の1/10である0.3 W/TB以下に低減し、データセンタなどの低消費電力化、地球温暖化防止に貢献し、持続可能社会に実現に寄与する。
- (3) 再生ヘッドなど、スピントロニクス応用技術の早期実用化・事業化を図り、国際的イニシアチブ獲得、日本の部品産業界の一層の競争力強化、活性化に貢献する。

