

超短パルスレーザによる局所プラズモン効果を用いた 熱アシスト磁気記録

眞野敬史, 吉川大貴, 芦澤好人, 塚本新, 佐々木有三*, 斉藤伸*, 高橋研*, 大貫進一郎, 中川活二
(日本大学, *東北大学)

Thermally Assisted Magnetic Recording using Plasmon Antenna with Ultra Short Laser Pulse

H. Mano, H. Yoshikawa, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, Y. Sasaki*,

S. Saito*, M. Takahashi*, S. Ohnuki, and K. Nakagawa

(Nihon University, *Tohoku University)

はじめに

近年、磁気記録の高密度化の手法として、近接場光を利用した熱アシスト磁気記録に注目が集まっている。これまで我々は、記録媒体上に棒状のプラズモンアンテナを直接積層した構造を用いて、超短パルスレーザでの記録実験による $166\text{ nm} \times 122\text{ nm}$ の反転磁区の形成を報告している (Fig. 1)¹⁾。しかし、アンテナ周りにも反転磁区が存在し、近接場記録の確たる実証はできておらず、さらに数 Tbit/inch² の高密度磁気記録を実現するためには、さらに微小な磁化反転磁区の形成が必要である。そこで本稿では従来のアンテナよりも記録媒体への加熱効率が低い四角形型アンテナを用いた近接場光記録によって局所記録磁区が生成できた事を示す。

実験方法

記録媒体上に積層するアンテナの熱伝導解析により、以前の棒状アンテナではアンテナが無い領域に比べて 1.92 倍、四角形アンテナでは 4.96 倍とアンテナがあるところで媒体の加熱効率が向上する事を報告している²⁾。今回の実験では四角形アンテナを用いて表面プラズモンを効率よく生成することで、従来よりも低レーザパワーで記録し、アンテナの無い部分で記録が起らない条件下での記録を行った。試料は Si 基板上に磁性層として Co₅₅Pt₃₀Cr₁₅ グラニューラ膜、さらに SiN 誘電体層を積層し、電子線リソグラフィを用いたリフトオフ法で金のアンテナを作製した。リソグラフィプロセスの最適化をすることで、作製した四角形アンテナにおいて以前の棒状アンテナよりも、先端曲率半径を約 50 nm から 25 nm へと改善した (Fig. 2)。これによりアンテナ先端部での光増強効果がより向上される事を期待した。

フェムト秒パルスレーザによる熱アシスト磁気記録

作製した四角形アンテナを用いてフェムト秒パルスのレーザによる熱アシスト磁気記録を行った。飽和磁界 H_s 以上である 15 kOe の磁界を試料に印加し磁化を一方向に飽和し、次にその方向と逆方向に本試料における室温での反転核生成磁界 H_n 以下である 300 Oe の磁界を印加した状態で記録媒体にレーザを照射した。レーザの条件はパワー 0.77 mW、パルス幅 90 fs、繰り返し周波数 1 kHz とした。その後、アンテナ周囲の磁区構造を磁気力顕微鏡によって観察した。磁気像を Fig. 3 に示す。ここでレーザの電界振動方向は両矢印で示している。Fig. 3 左上の四角形が作製したアンテナであり、その先端部のみに局所化された反転磁区を得た。これにより最小 $62\text{ nm} \times 67\text{ nm}$ の微小磁気記録を達成した。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C)No.23560413, 平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020), 情報ストレージ研究推進機構, 及び日本大学 N 研究プロジェクトの助成を受けて行った。

参考文献

- 1) A. Tajiri, K. Tamura, S. Toriumi, Y. Ashizawa, K. Nakagawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi and S. Ohnuki, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 119-122 (2013).
- 2) 林慶彦, 田村京介, 眞野敬史, 芦澤好人, 大貫進一郎, 中川活二, 日本磁気学会学術講演概要集, Vol.37, P18, (2013).

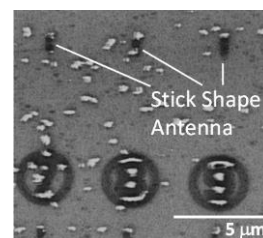
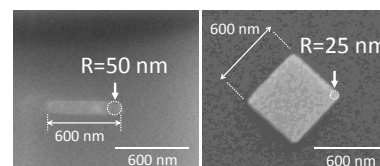


Fig. 1 MFM micrograph after thermal recording around stick shape antennas. ¹⁾



(a) Stick Antenna (b) Square Antenna

Fig. 2 SEM images of fabricated plasmon antennas. (a) stick type and (b) square type.

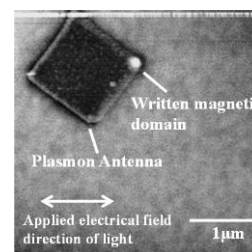


Fig. 3 MFM micrograph after thermal recording around a square plasmon antenna.

金属薄膜端部における表面プラズモンの伝搬解析 およびプラズモニック導波路への応用

林慶彦, 田村京介, 芦澤好人, 大貫進一郎, 中川活二
(日本大学)

Electromagnetic analysis of surface plasmon propagation along an edge of a metallic thin film
and application to a plasmonic waveguide for thermally assisted magnetic recording
Yoshihiko Hayashi, Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, and Katsuji Nakagawa
(Nihon University)

はじめに

磁気記録において数 Tbit/inch² の高記録密度を実現する手法として、近接場光を用いた熱アシスト磁気記録が注目されている。我々は、伝搬型表面プラズモンを利用するプラズモニック導波路により、磁性媒体上 10 nm×10 nm の領域に光を局所化できることを報告している¹⁾。しかし、記録媒体を記録温度まで加熱すると、エネルギー伝送の効率が十分でないため、むしろプラズモニック導波路先端に設置した近接場光アンテナが高温になる問題が発生する。そこで本報告では、プラズモニック導波路から記録媒体に効率的にエネルギーを伝送可能なプラズモニック導波路の金属薄膜形状を検討した。

シミュレーションモデル

電磁界解析には時間領域差分(Finite-Difference Time-Domain: FDTD) 法を用いた。プラズモニック導波路付き磁気ヘッドを Fig. 1 に示す。Fig. 1 の右図に示した金属薄膜 (Au) の面内形状を検討した。シミュレーションモデルを Fig. 2 に示す。誘電体クラッド (Al₂O₃) 中に誘電体コア (Ta₂O₅) を配置し、誘電体コアに沿ってギャップ 190 nm をあけて厚さ 100 nm の金属薄膜を配置している。真空波長 780 nm、電界の振幅 1 V/m の *p* 偏光の光をクラッドとコアの境界で入射角 60° で全反射させた。金属薄膜の面内の寸法 (3,000 nm×2,000 nm) は金属薄膜先端角度 ϕ によらず常に一定とした。Fig. 1 に示すプラズモニック導波路の面内形状に注目し、金属薄膜 (Au) の先端角度 ϕ に対する先端部の表面プラズモンの収束度合いを電界強度 2 乗値で評価した。

局所化した近接場光強度の金属薄膜先端角度依存性

先端角度 ϕ を変化した際の金属薄膜先端部における表面プラズモン強度 (コア側表面) を Fig. 3 に示す。先端角度 ϕ が 60° から 20° では、 ϕ の減少と共に電界強度 2 乗値は増大していき、20° 以下では急激に電界強度 2 乗値が減少した。

先端角度 ϕ が減少すると先端へ誘導される表面プラズモンが増大するが、表面プラズモンを励起する面積が減少する。この 2 つの効果の兼ね合いにより金属薄膜先端において最適な表面プラズモン励起条件が存在する。

Fig. 1 の右図に示した金属薄膜形状では媒体を記録温度まで加熱した際に、金属薄膜先端部が約 2200°C まで温度上昇するが、プラズモニック導波路の金属薄膜先端角度を 20° とすることで、金属薄膜先端部の温度上昇を約 400°C にまで低減することができた。

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(C) No. 23560413, 平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020), および情報ストレージ研究推進機構の助成を受けて行われた。

参考文献 1) Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki, and Katsuji Nakagawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **38**, 131-134 (2014).

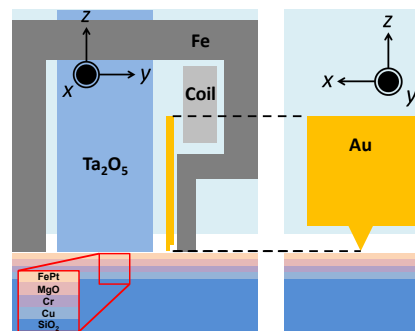


Fig. 1 A model of magnetic head with a plasmonic waveguide.

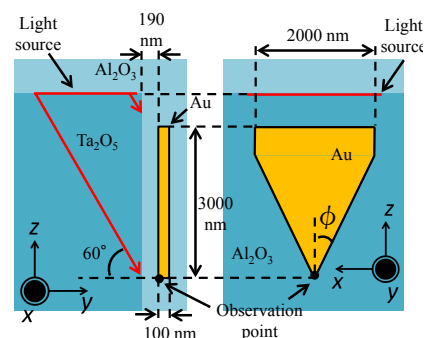


Fig. 2 Simulation model of a plasmonic waveguide to analyze confinement effect at the tip of metal as a function of tip angle ϕ .

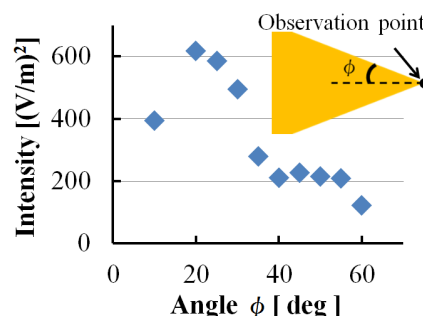


Fig. 3 Intensity depending on angle ϕ at the tip of the metal.

GdFeCo 二層膜における超短パルス光照射 極短時間加熱・熱拡散過程の誘電体中間層厚依存性

佐藤哲也, 吉川大貴, 塚本新*, 伊藤彰義*

(日本大学大学院理工学研究科, *日本大学理工学部)

Dielectric Interlayer Thickness Dependence of Ultrashort Laser-induced
Ultrafast Thermalization and Thermal Diffusion Process in GdFeCo Double-layered Films

Tetsuya Sato, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto*, Akiyoshi Itoh*

(Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., *College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに

磁性多層膜における磁化ダイナミクスの理解及び制御法の確立は、磁気記録、スピントロニクス両分野において重要な要求である。我々は、超短パルス光照射による GdFeCo 薄膜の $\sim$ ps 領域での減磁が主に電子温度上昇に対応すること¹⁾, 誘電体中間層を有する GdFeCo 二層構造試料の各磁性層における減磁量が光吸収差によって異なり、その後の層間の格子温度平衡化には時間を要すること²⁾を報告している。本報告では、超短パルス光による極短時間加熱を積極的に利用するための媒体熱設計指針を実験的に明らかにするため、多層膜内各層の減磁及びその後の歳差運動を伴う熱拡散過程について、誘電体中間層厚依存性の検討を行った。

実験方法・結果

測定試料はマグネトロンスパッタ法にて作製した SiN (60 nm) / A 層: Gd₂₇Fe_{63.9}Co_{9.1} (10 nm) / SiN (x nm) / B 層: Gd₂₂Fe_{68.2}Co_{9.8} (10 nm) / SiN (5 nm) / glass sub.を用いた。中心波長 800 nm, パルス幅 90 fs (半値全幅) のレーザーを光源としたポンプ・プローブ法により、膜面法線から 65° 傾けた外部磁界 H_{ext} を印加し、磁化応答を室温にて測定した。なお、各層の正味飽和磁化が平行・反平行の条件で測定した Faraday 回転角 $\Delta\theta_F$ を加減算し、各層の応答に分離できる²⁾。ポンプ光エネルギー密度 $F_p = 0.39 \text{ mJ/cm}^2$, $H_{\text{ext}} = 54 \text{ mT}$ で測定した $x = 5 \text{ nm}$ 試料内各層の応答を Fig. 1 に示す。 Δt はポンプ光照射からの遅延時間, $\Delta\theta_F / \theta_F$ はヒステリシスループにおける各層の変化量 θ_F で規格化したものである。磁化の応答は、主に電子温度上昇に対応する $\sim$ ps 領域の減磁過程と、電子・格子系平衡化後数 100 ps にわたり歳差運動を伴う熱拡散過程の、2 つの時間領域に区分でき、 $x = 3, 5, 10 \text{ nm}$ の各試料における減磁量は、A 層が B 層の 1.3 倍, 1.4 倍, 1.7 倍程度であった。A 層では歳差運動に相当する減衰振動を確認できないが、磁化補償状態に近く振幅が小さいためであると考えられる。一方、B 層では周波数 $f \sim 6.9 \text{ GHz}$, 実効 Gilbert ダンピング定数 $\alpha_{\text{eff}} \sim 0.075$ である事を確認できる。歳差運動を示す時間域での多層膜中の温度評価のため、B 層の $H_{\text{ext}} = 54 \text{ mT}$ における f の x 依存性を測定した結果を Fig. 2 に示す。試料内実効磁界は低印加磁場域では実効的異方性磁界が主となるため、 f の変化は主に B 層の温度状態に対応すると考えられる。上記観点から、同一 F_p での f の x 依存性は 15 % 程度であり、初期減磁量の x 依存性に比べ小さい。これらは、 x により電子・格子系平衡化後の温度への影響を抑えつつ、二層間の電子温度上昇比を大きく変化可能なことを示す。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業 (S1311020) の助成により行った。

参考文献

- 1) T. Sato, S. Toriumi, R. Shimizu, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* **36**, 82 (2012).
- 2) T. Sato, R. Shimizu, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* **38**, 115 (2014).

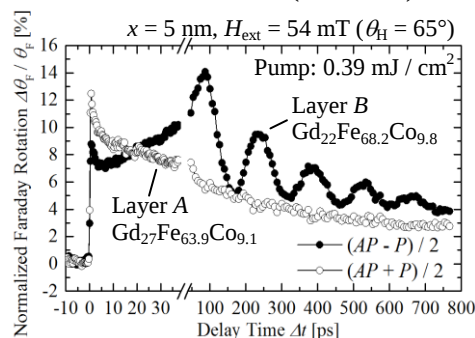


Fig. 1 The time evolution of normalized Faraday rotation $\Delta\theta_F / \theta_F$ in each magnetic layer of GdFeCo double-layered film with 5 nm-thick SiN interlayer.

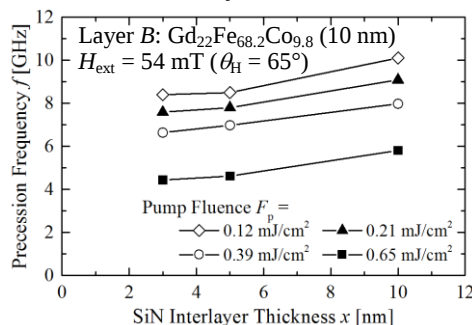


Fig. 2 SiN interlayer thickness dependence of precession frequency in Gd₂₂Fe_{68.2}Co_{9.8} layer of GdFeCo double-layered films.

全光型磁化反転応答特性の試料多層構造依存性

吉川大貴, 佐藤哲也, 塚本新*, 伊藤彰義*

(日本大学大学院理工学研究科, *日本大学理工学部)

All – optical magnetization switching property depends on multi layered structure

Hiroki Yoshikawa, Tetsuya Sato, Arata Tsukamoto*, Akiyoshi Itoh*

(Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., *College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに

数十フェムト秒程度の極短時間パルス光をフェリ磁性薄膜に照射することで全光型磁化反転現象 (All – Optical magnetization Switching: AOS) 及び熱磁気的多磁区形成現象 (Thermo – Magnetically created Multi domain area: TMM) を誘起することができる。AOSはTMMとは原理が異なり、各副格子毎のスピンダイナミクスの差異に起源を有し、外部磁場を要せず偏光に一意に対応した磁区を形成する現象¹⁾や、単一パルス光を照射した場合、照射範囲の磁化が多磁区構造であっても初期構造に対し反転した磁区が形成する現象²⁾がある。AOSの反転可否は主としてフェリ磁性体に吸収される照射エネルギー密度 W_R に強く依存し、ほぼ被照射薄膜の正味の磁化に依存しない³⁾。同様にTMM領域も照射光強度に依存して拡大し、AOSよりも高エネルギー密度領域で形成される。本項では照射光エネルギーの吸収・拡散構造が大きく異なる層構造に超短パルス光を照射することで、超短時間の電子・格子系熱応答特性の違いを利用してAOS・TMM反転応答特性制御を試みた。

実験方法

GdFeCo 薄膜に中心波長 800nm パルス幅 90fs(半値全幅)のレーザー光照射により室温にて磁化反転を誘起し、形成磁区を偏光顕微鏡を用い、磁気光学像にて観察する。試料に Magnetron Sputtering 方式により作製した SiN (60 nm)/ Gd₂₂Fe_{68.2}Co_{9.8}(n nm) / SiN (m nm) / AlTi (l nm) / glass sub. ($\{n, m, l\} = \{20, 5, 10\}, \{20, 0, 10\}, \{20, 5, 0\}$) を使用した。

実験結果

Fig.1 に上記超短単一パルス光を各媒体(横軸)に照射し形成される磁区サイズ(円面積)を各照射光エネルギー毎(縦軸)に示す。形成磁区は Fig. 1 中磁気光学像の様になり、AOS 領域及び TMM 領域の二領域が存在する。AOS・TMM 形成磁区サイズは共に照射エネルギーに一意に対応するが、各層構造での AOS・TMM 磁区形成可否エネルギー閾値差は大きく異なる。照射エネルギーの吸収・散逸が大きく異なる層構造を有する試料に超短パルス光磁化反転を誘起することで、AOS・TMM の反転閾値等応答特性に異なる層構造依存性を見出した。これらは AOS・TMM が電子・格子温度の到達温度及び到達時定数に強く依存することを示唆する。

謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020)の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) C. D. Stanciu, F. Hansteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing: *Phys. Rev. Lett.* **99**, 047601 (2007).
- 2) T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Feseko, S. El. Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B.A. Ivanov, A.M.Kalashnikova, K. Vahaplar, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel: *Nature Comm.* **1666**, 3:666 (2012).
- 3) H. Yoshikawa, S. Kogure, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* **38**, 139 (2014).

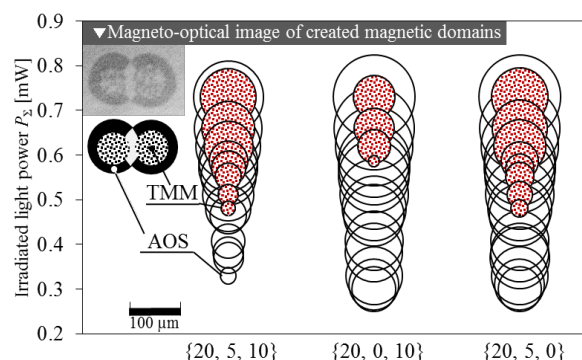


Fig. 1 The layer dependence of created domain sizes by AOS and TMM in the films of SiN (60 nm) / Gd₂₂Fe_{68.2}Co_{9.8}(n nm) / SiN (m nm) / AlTi (l nm) / glass sub. ($\{n, m, l\} = \{20, 5, 10\}, \{20, 0, 10\}, \{20, 5, 0\}$). Inset: Magneto - optical image of created magnetic domains.

BPM を用いた熱アシスト磁気記録において ビットエラーレートに及ぼすヘッド磁界の立上り時間の影響

田村尚也, 赤城文子
(工学院大学)

Effect of Rise-Time of Head Field on Bit Error Rate for Heat Assisted Magnetic Recording with BPM

N. Tamura, and F. Akagi
(Kogakuin Univ.)

はじめに

現在, 磁気ディスク装置 (Hard Disk Drive:HDD) では, 媒体雑音, 熱揺らぎ, ヘッド磁界強度不足といったトリレンマがある. そこで, この問題を解決するために熱アシスト磁気記録方式 (Heat Assisted Magnetic Recording:HAMR) が提案され, 研究されている¹⁾. これは, 媒体の微小な記録領域を記録の瞬間だけ暖めて, 異方性磁界 H_k を下げることによりヘッド磁界が低くても記録を可能にするという方式である. また, 高密度記録を達成するためにビットパターン媒体 (Bit Patterned Media:BPM) が HAMR と組み合わせられて研究されている²⁾. BPM 媒体は1粒子に1ビットを記録しているのでヘッド磁界と熱分布を制御できないと隣の粒子に影響を及ぼしビットエラーを引き起こしてしまう. 即ち, クオドリレンマによるビットエラーレートが問題となる. 従って, 本研究ではヘッド磁界の立上り時間がビットエラーレートに及ぼす影響について検討を行った.

計算モデルと計算条件

媒体の記録磁化パターンは Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式 (LLG 方程式) を解いて求めた. 飽和磁化と異方性定数の温度特性は Brillouin function を用いて求めた. 記録時の熱分布は最大上昇温度 250 K ($T_c = 600$ K) のガウス分布を仮定した. 本研究で用いた媒体の H_k は 2914 kA/m とした. ヘッド磁界強度は 880 kA/m であり H_k よりも低い熱アシストすることにより記録可能になる. 媒体は, ドット径が 12.8 nm, ドット間の隙間が 6.4 nm の BPM を用いた. ヘッド磁界の立上り時間を 0.3~1.6 nsec に変化させて検討を行った. ヘッド媒体間の周速は 10 m/sec とした.

計算結果

fig. 1 にヘッド磁界の立上り時間をパラメータとしたビットエラーレートのヘッド磁界依存性を示す. ここで, ビットエラーレートの定義は, 記録したビット数 128 個に対してエラーしたビット数の割合とした. 図よりヘッドの立上り時間が長くなるとグラフは右にシフトする. これは, 立ち上がり時間が長くなると記録に必要なヘッド磁界強度が増加するためである. また, ヘッドの立上り時間が長くなるとビットエラーレートが0になるヘッド磁界強度の範囲が狭くなる.

謝辞 本研究で用いたヘッド磁界は, 秋田県産業技術センターの山川氏から提供して頂いたものであり, ここに感謝いたします.

参考文献

- 1) 赤城文子・廣常朱美・根本広明・松本拓也・大倉康孝・向尾将樹・牛山純子・宮本治一, “面記録密度 1Tb/in²-2.5Tb/in²を達成するための熱アシスト磁気記録計算シミュレーション”, EICE Technical Report MR2012-17 (2010-7)
- 2) J.Ushiyama, F.akagi, A.Ando, and H.Miyamoto, “8Tbit/inch²-class Bit patterned Media for Thermally Assisted Magnetic Recording”, IEEE Trans., on Magn., 49 7 3612-3615 (2013)

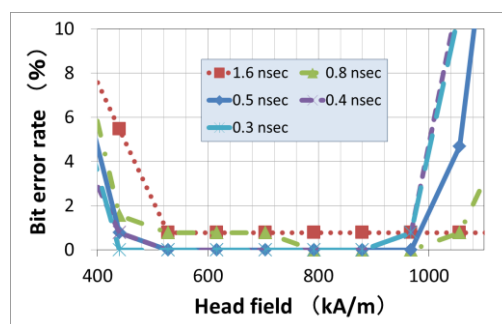


Fig. 1 Head field dependence of bit error rate with different rise-times of head field intensity.