

垂直磁気記録用書き込みヘッドの性能改善

中村 慶久 板垣 諒* 金井 靖*
(東北大学電気通信研究所、*新潟工科大学工学部)

Improvement of write head for PMR
Y. Nakamura, *R. Itagaki, *Y. Kanai
(RIEC Tohoku Uni., Niigata Institute of Tech.*)

1 はじめに

垂直磁化方式による HDD が 2005 年に世に出て、面記録密度が一時期進展したが、近年は足踏み状態が続いている。これは垂直磁気記録 (PMR) の高密度化に対する trilemma のためである。この状況を打破するため、磁性層の保磁力を低下させて書き込むエネルギーアシスト方式が提案されているが、熱アシスト方式でも書き込み磁界の強いことが望ましいことは、Intermag 2017 でも報告されている [1]。

筆者らは、垂直磁化方式の実験を進めていた経験から、現状の PMR 用書き込みヘッドには改善の余地があると考え、検討を進めている [2]。本報告では、できるだけ小さなインダクタンスで、高速でも強い書き込み磁界を生じる PMR 用書き込みヘッドの可能性を、FEM 解析によって調べた結果を報告する。

2 解析法

渦電流を考慮した 3 次元非線形過渡磁界解析プログラム (JSOL 製 JMAG) [3] を使用して、磁気ベクトルポテンシャル \mathbf{A} と電気スカラーポテンシャル ϕ を用いた $\mathbf{A} - \phi$ 法でヘッド磁界を解析した。インダクタンス L は、コイルを鎖交する磁束 Φ とコイル電流 i とから $L = d\Phi/di$ で求めた。ヘッド材料の非直線性は考慮したが、磁気共鳴、磁気異方性、ヒステリシス、変位電流などは無視した。

3 ヘッドのモデル化

Fig.1 は、現用書き込みヘッド [4] をモデル化したものの断面図である。また Fig.2 は筆者らが依然提案した主磁極先端励磁型ヘッド [5] をモデル化したものである。その他、Fig.2 を基本に様々なヘッド構造を想定して解析し、磁界強度や磁力線分布、磁極内の磁化状態、インダクタンスなどを比較した。

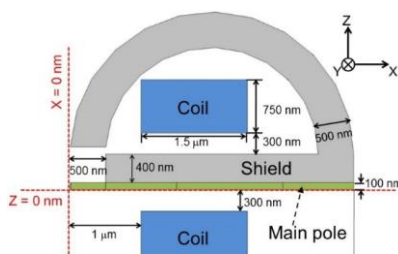


Fig. 1 モデル化した現用ヘッド

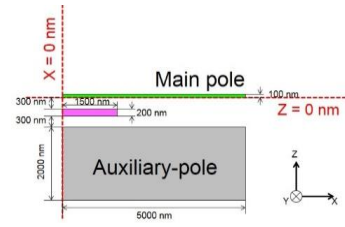


Fig. 2 主磁極先端励磁型ヘッド

4 結果

Fig.3 は、現用ヘッドのモデルを Current、主磁極先端型の基本モデルを Model-2、この主磁極と補助磁極をリターンヨークで結んだものを Model-2R として、起磁力に対する記録媒体中心層に生じる磁界強度をプロットしたものである。これらのインダクタンスは、Current が 68.43 pH であるのに対して、Model-2 が 17.6 pH、Model-2R が 19.9 pH であった。

この結果から、現用ヘッドは書き込み磁界強度とインダクタンスのいずれもが主磁極先端型より劣っていることが判る。さらに詳細に調査し、その結果を報告する。

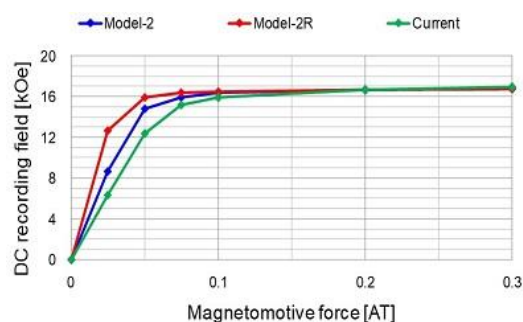


Fig. 3 起磁力に対する書き込み磁界強度

[参考文献]

- [1] S. Bance, et al, Digest of Intermag 2017, FE-05, April 2017. [2] 中村他、信学技報、MR2016-37、pp.45、Dec. 2016.
[3] <https://www.jmag-international.com/index.html> [4] H. Naka et al, Toshiba Review, 70, 30, pp.25, 2015
[5] H. Muraoka, et al, IEEE Trans. on Magn., 35, 2, pp.643, 1999.

積層二層磁気記録媒体の再生分解能の補正

Readback resolution of dual-layer recording

齋藤仁 村岡裕明

Jin Saito Hiroaki Muraoka

東北大学 電気通信研究所

RIEC, Tohoku University

1. はじめに

近年ハードディスク装置(HDD)の記録容量と記録密度の向上が求められている。マイクロ波磁界を用いることにより積層記録層に層別に記録再生して大容量化する方法が提案されている[1]。ここでは積層二層媒体の直接再生から両層の信号を分離して復号することを目的に再生過程の計算を通じて検討しその再生特性を検討した。

2. 計算方法

二層再生を行うときにスペーシングロスの差により1層目と2層目の出力特性に大きな差があると復号時に振幅が検出できないため、両者のロールオフ特性の違いが問題になる。ヘッドに近い1層目の膜厚を薄くすることで相対的に2層目の出力を大きくして振幅を補正できるが、今度はスペーシングロスのため両者の記録密度特性に差異が生じる。今回提案するモデルは2層目の下に1層目と同じ記録がされている層を補助層として設けて出力とロールオフを調節する。1層目と補助層の出力を合わせることで1層目を薄くしても出力を大きくできる。2次元の再生感度関数[2]と磁化分布を用いて相反定理によりこのときの再生波形を計算した。

ここで2層同時読み取りを行う際、1層目の記録磁化が上向きで2層目が下向きの場合と1層目下向きで2層目が上向きの場合いずれも出力が打ち消す方向なので判別が困難となる。2層目を1層目より半ビットずらして設置し、1層目の最初のビットを既知とするとその後のビットも帰納法的に判別することができる。

3. 結果

層1が3nm, 層2が8nm, 補助層が5nmのモデルで計算を行った。図1は補助層を用いた時のロールオフを示している。補助層を用いることにより補助層と上層の合成出力と下層の出力を近づけることができた。図2は各ビットの中心点をサンプリングしたヒストグラムを示している。補助層を用いない場合では出力差が生じることで3通り

参考文献

- 1) H. Suto, T. Nagasawa, K. Kudo, T. Kanao, K. Mizushima, and R. Sato "Layer-Selective Switching of a Double-Layer Perpendicular Magnetic Nanodot Using Microwave Assistance" Phys. Rev. Applied 5, 014003 – Published 12 January 2016.
- 2) H. Muraoka, Y. Sugita and Y. Nakamura "Simplified Expression of Shielded MR Head Response for Double-Layer Perpendicular Medium" IEEE Trans. Magn. 35,5,2235, SEP 1999.

の判別ができないが、補助層を用いた場合ノイズおよび符号間干渉によりヒストグラムに幅が生じているが、上述の3通りの上下層の磁化の組み合わせについてそれぞれの判別が可能である。より現実的な復号を目指すためにPRML方式を用いることを検討する必要がある。

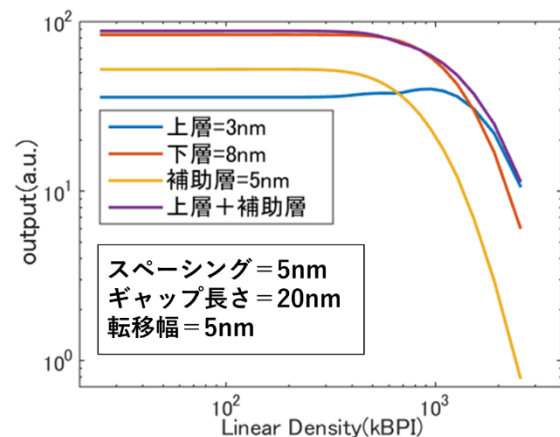


図1 ノイズ付加時の二層同時再生波形

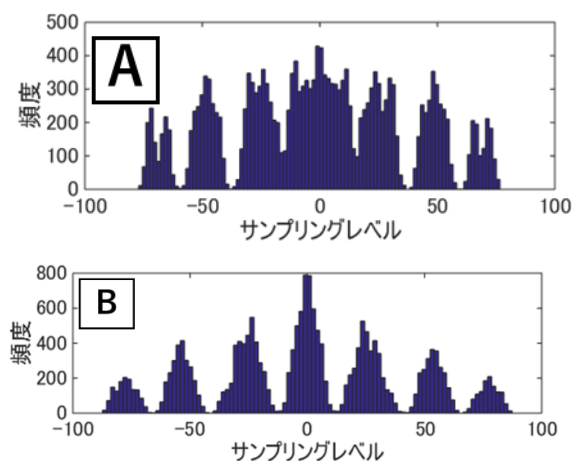


図2 A 2層, B 補助層を用いた時のクロック点での振幅レベルのヒストグラム。SN比は-28dBである

スピントルク発振素子を用いた2層の反強磁性結合記録磁化の 選択的共鳴読み出し：マイクロマグネティックシミュレーション

金尾太郎、首藤浩文、永澤鶴美、水島公一、佐藤利江
(東芝研究開発センター)

Micromagnetic simulation of selective resonant readout of two-layer antiferromagnetically-coupled recording magnetization using a spin-torque oscillator

Taro Kanao, Hirofumi Suto, Tazumi Nagasawa, Koichi Mizushima, and Rie Sato
(Corporate Research & Development Center, Toshiba Corporation)

はじめに

複数の記録層をもつ3次元磁気記録¹⁾における読み出し方法として、スピントルク発振素子(STO)と記録層の共鳴を利用した共鳴読み出しが提案されている²⁾。この方法では記録層の共鳴周波数にSTOの発振周波数を近づけることにより層を選択するため、各記録層に選択的にアクセスできる。これまでにSTOを用いた共鳴読み出しが可能なことを、記録磁化が1層の場合に実験²⁾とマイクロマグネティックシミュレーション³⁾により示してきた。今回は2層の場合に選択的共鳴読み出しが可能であることをマイクロマグネティックシミュレーションにより示す。

シミュレーションの設定

Fig. 1に、STOと2層の記録磁化(RM)の設定を示す。STOとして、磁気抵抗効果により大きな出力信号が得られる面外発振自由層・面内固定層のものを用いた。また、記録磁化の各記録層は反強磁性結合した2層の磁性層(AFC層)からなっている。それらはSTOの発振周波数と近い共鳴周波数を持ち読み出しに用いられるソフト層と、十分高い共鳴周波数を持ち情報を保持するハード層からなる。各磁化はソフト層の共鳴周波数への漏れ磁場の影響を打ち消すように配置されている。AFC層の磁化の向きにより共鳴周波数が異なるようにするために、記録磁化には読み出し磁場 $H_z^{RM} = 0.2$ kOeをz方向に加えている。

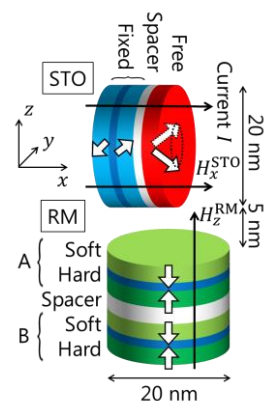


Fig. 1. STO and recording magnetization (RM).

結果

Fig. 2に、4通りのAFC磁化配置に対してSTOの発振周波数(a)(b)および発振パワー(c)(d)の、STOに加えるx方向磁場 H_x^{STO} 依存性を示す。(a)(b)のように、 H_x^{STO} に対してほぼ線形に発振周波数が増加していく。(a)(b)にはそれぞれソフト層BとAの磁化配置”Down”, ”Up”での共鳴周波数をプロットした。対応する磁化配置のとき、発振周波数がそれらの共鳴周波数に近づくと(c)(d)のように発振パワーにディップが現れる。これはSTOとソフト層磁化が共鳴的に同期振動し、STOに対する実効的な緩和が増加したためである。この発振の変化を用いて磁化方向を判別することができる。さらに、(c)(d)では共鳴に寄与しないもう一方のAFC層の磁化の向きによる影響がほとんど表れていない。したがって、STOの発振周波数を変化させることで各AFC層に選択的にアクセスし読み出すことができる。

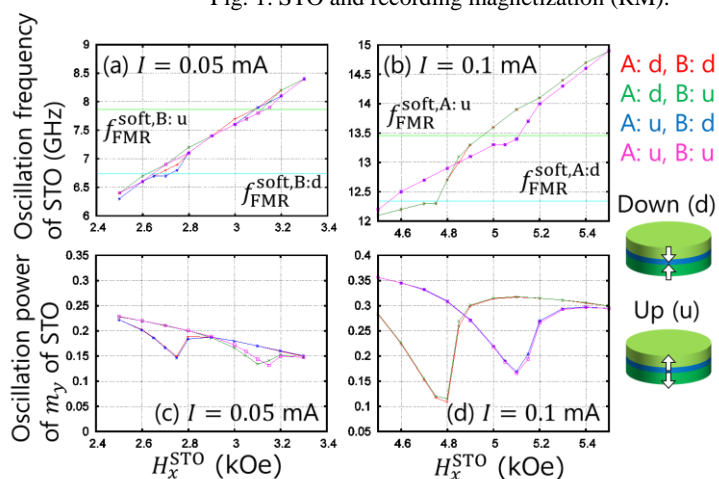


Fig. 2. Oscillation frequency and power of STO as a function of H_x^{STO} .

参考文献: 1) H. Suto et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 07MA01 (2016). 2) H. Suto et al., Nanotechnology **25**, 245501 (2014). 3) T.

Kanao et al., MMM2016, GH-05, New Orleans. 本研究は科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)」の支援によっておこなわれた。

磁性層の実効的光吸収率増大による全光型磁化反転の高効率化

飯坂岳¹, 吉川大貴¹, 二川康宏¹, 塚本新²

(¹ 日本大学大学院理工学研究科, ² 日本大学理工学部)

High efficiency excitation of All-Optical magnetization Switching with increasing of effective optical absorption in magnetic layer

Takeshi Iisaka¹, Hiroki Yoshikawa¹, Yasuhiro Futakawa¹, Arata Tsukamoto²

(¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.,)

はじめに:フェムト秒パルスレーザーによる極短時間の光をフェリ磁性 GdFeCo 薄膜に照射することのみで、全光型磁化反転現象 (All-Optical magnetization Switching : AOS) を誘起することができる¹。AOS は従来の外部磁場による磁化反転トルクを利用する磁気記録原理とは異なり、極短時間の作用時間で磁化反転可能であることから、磁気記録の飛躍的高速化への新たな手法として期待されている。磁性層に吸収される照射光エネルギー密度に強く依存しており、その閾値によって反転可否が決まる²。磁性層の実効的光吸収率を光学多層膜化により増大し、反転効率増加を図る。酸化防止保護膜でもある SiN 誘電体膜厚の異なるフェリ磁性 GdFeCo 薄膜の試料群に対し、連続光吸収スペクトル計測と超短パルス光照射による形成磁区の大きさの照射光強度依存性を評価することで、連続光での実効的光吸収特性と、超短パルス光での AOS 応答の相関についての検討を行う。

実験方法: 測定試料には、DC, RF マグネトロンスパッタ法により作製した。SiN (t nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t = 20, 40, 60, 80, 100$) を用いる。本試料群において、紫外可視近赤外分光計を用いて、光を膜面垂直方向に入射し、反射率・透過率スペクトルの計測を行い、磁性層の実効的吸収率を見積もる。さらに、試料に中心波長 800 nm パルス幅 90 fs (半値全幅) の単一パルスレーザーを照射し、室温にて AOS を誘起し、偏光顕微鏡を用いて形成磁区を磁気光学像に観察する。

実験結果: Fig.1 (a)に分光計によって測定した反射率・透過率スペクトルから見積もった波長 800 nm の光に対する磁性層実効的吸収率 SiN 膜厚 t 依存性を示す。Fig. 1 (b)に上記単一超短パルス光を各試料に照射し磁区サイズを各照射光強度毎に示す。SiN 膜厚が 20, 40, 60, 80 nm の順で磁性層の実効的吸収率が大きくなり、それとともに、反転エネルギー密度閾値が減少する。結果より Fig. 2 の様に反転エネルギー閾値と連続光での実効的吸収率は強い相関を持つことから、超短パルス光においても、光学干渉効果による実効的吸収率の増大を生じたものと示唆される。

謝辞: 本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020) および平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) ナノスピンの変換科学(Grant No. 26103004)の助成を受けて行った。

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) H. Yoshikawa, S. Kogure, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* 38, 139 (2014).

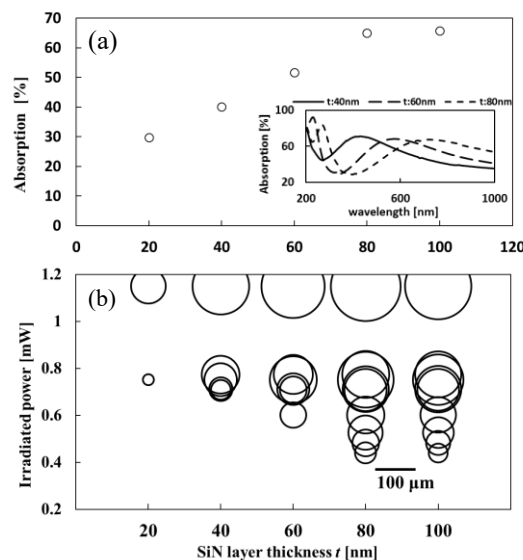


Fig. 1
(a) SiN layer thickness dependence of absorption (Inserted figure : Absorption spectrum)
(b) SiN layer thickness dependence of created domains size by AOS in the film SiN (t nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t = 20, 40, 60, 80, 100$)

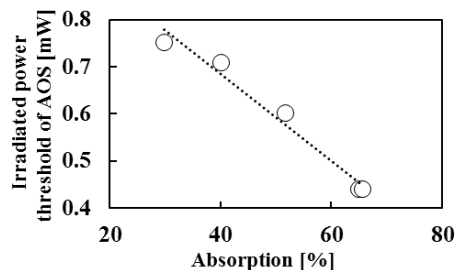


Fig. 2 The correlation between irradiated power threshold of AOS and absorption

Pt 下地層による GdFeCo 全光型磁化反転閾値の低減効果

吉川大貴¹, Souliman El Moussaoui², 笠谷雄一², 二川康宏¹, 塚本新²(¹ 日本大学大学院理工学研究科, ² 日本大学理工学部)

Reduction effect of All Optical magnetization Switching threshold in GdFeCo stacked on Pt

Hiroki Yoshikawa¹, Souliman El Moussaoui², Yuichi Kasatani², Yasuhiro Futakawa¹, Arata Tsukamoto²(¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.,)

はじめに: 外部磁場を要せず数十フェムト秒の超短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)を誘起することができる。磁性金属薄膜では、超短パルス光吸収後 fs ~ 数十 ps で電子・スピン・格子の各系・系間の非断熱的エネルギー散逸過程が顕在化する。これまでに試料層構成、電子比熱の異なる金属を隣接した試料群における検討から、この時間領域において AOS ではサブ ps での電子系の膜厚方向へのエネルギー散逸が重要であることを示唆した¹⁾²⁾。さらに、GdFeCo 薄膜に Pt 層を隣接することにより、超短パルス光照射により逆スピンホール効果を経由し、電流が誘起されることを THz 分光計測から報告している³⁾。本稿では更に極短時間の電子系エネルギー散逸および界面ヘテロ構造と AOS の相関を検討するために、異なる金属を隣接した試料群に対し、同様に AOS 磁区サイズの照射光強度依存性を評価し、AOS と電子系内での空間的エネルギー散逸に関する検討を行った。

実験方法: Magnetron Sputtering 方式により作製した SiN(60 nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (10 nm) / {(a)Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}, (b)Al₉₀Ti₁₀, (c)Cu, (d)Pt} (5 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. 薄膜に中心波長 800 nm パルス幅 90 fs(半値全幅)のガウシアンレーザー光を膜面側より照射すること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の磁気光学像にて観察する。

実験結果: Fig.1 に上記超短単一パルス光を各試料(横軸)に照射し形成される磁区サイズ(円面積)を各照射光強度毎(縦軸)に示す。いずれの試料でも AOS 形成磁区サイズは照射光強度に一意に対応し、GdFeCo (10 nm)の試料の隣接層(5 nm)が(a),GdFeCo (b)AlTi, (c)Cu, (d)Pt の順に AOS 誘起光強度閾値が小さくなる。主に光入射側の GdFeCo 層にて吸収された光エネルギーはサブ ps という極短時間において主に電子系でのエネルギー散逸が想定され、隣接金属層も含み各層の電子比熱に準じ Fig. 2 の様な分配が予想される²⁾。Fe, Co, Al, Ti, Cu, Pt の電子比熱係数はそれぞれ 5, 4.7, 1.35, 3.5, 0.688, 6.8 mJ / mol K²である⁴⁾。(c)が最も大きい磁区を形成し、次いで (b), (a), ととなり Pt の試料(d)が最も小さく、(a), (b), (c)は電子比熱に基づくエネルギー分配にて予想した傾向を示した。一方 Pt 隣接試料(d)は上記エネルギー分配モデルでは説明できず、特異な結果を示すことが明らかとなった。

謝辞: 本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020) および平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) ナノスピン変換科学(Grant No. 26103004)、また日本学術振興会特別研究員奨励費(16J01232)の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) H. Yoshikawa, S. El. Moussaoui, S. Terashita, R. Ueda, and A. Tsukamoto: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 7S3 (2016)
- 2) 吉川大貴, Souliman El Moussaoui, 寺下進之佑, 塚本新: マグネティクス研究会, MAG-17-029 (2017)
- 3) T. J. Huisman, C. Ciccarelli, A. Tsukamoto, R. V. Mikhaylovskiy, Th. Rasing, and A. V. Kimel: *Appl. Phys. Lett.* **110**, 072402 (2017)
- 4) 日本金属学会編: “改訂 4 版 金属データブック”, (丸善出版, Japan, 2004) p 17.

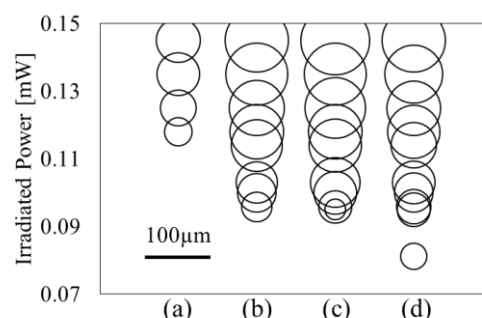


Fig. 1 The layer dependence of created domains sizes by AOS in the films SiN(60 nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (10 nm) / {(a)Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}, (b)Al₉₀Ti₁₀, (c)Cu, (d)Pt} (5 nm) / SiN (5 nm) / glass sub.

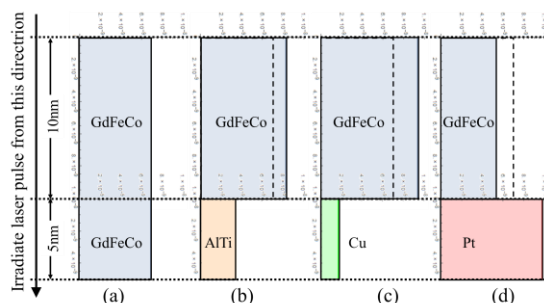


Fig. 2 The estimation of the energy distribution at reaching temporal equilibrium electron temperature with electronic specific heat