

スピントルク MRAM の書き込みエラー率分布

Distribution of write error rates of spin-transfer-torque MRAM

産総研新原理¹, ○今村裕志, 荒井礼子, 松本利映AIST RCECT,[○]Hiroshi Imamura, Hiroko Arai, Rie Matsumoto

E-mail: h-imamura@aist.go.jp

スピントルク MRAM は高速動作・高密度実装が可能な不揮発メモリであり、高性能化・大容量化を目指した研究開発が盛んに行われている[1]。そのような開発では、素子ごとの物性値のバラツキに起因する書き込みエラー率(WER)の確率分布を知ることは重要である。我々は面抵抗や異方性定数が正規分布に従うと仮定し、WER の確率密度分布の導出を行なった[2]。

素子の面抵抗を r で表し、 r の期待値を r_0 、標準偏差を σ とする。フォッカープランク方程式に基づいた解析[3]を行うと、スピントルク MRAM の書き込みエラー率(w)の分布が

$$g(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \eta \sigma w} \exp \left\{ -\frac{[\log(w) - \log(w_0)]^2}{2\eta^2 \sigma^2} \right\}$$

で与えられることが分かる。ここで w_0 は WER の期待値、 η は電流のパルス幅(t_p)に比例する係数である。これは指数正規分布関数であり、図 1(a)に示すように、歪みを持つ確率密度分布関数である。異方性定数(K)が正規分布に従う場合の WER の確率密度分布関数も、 η を新たに定義し直すことで同じ式で表すことができる。この場合の η も t_p の増加関数である。標準偏差を期待値で割った値で定義される変動係数 (CV) は WER のバラツキを特徴づける重要な量である。WER の確率分布関数 $g(w)$ を用いてスピントルク MRAM の CV を計算すると

$$CV(w) = \sqrt{\exp(\eta^2 \sigma^2) - 1}$$

となる。これは図 1(b)に示すように t_p の増加関数であることから、狭いパルス幅で書き込みを行うことで、WER の CV を抑えられることが分かる。

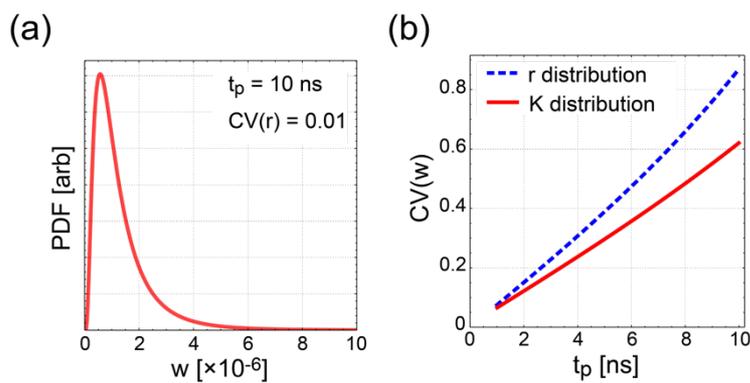


Fig. 1. (a) Probability density function (PDF) of write error rate, w , caused by the distribution of the resistance area product, r . We assume that r obeys the normal distribution with $CV(r) = 0.01$. (b) t_p dependence of $CV(w)$. The results for the r and K distributions are represented by the dotted blue and the solid red curves, respectively.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19H01108 および 20K12003 の助成を受けたものです。

参考文献 [1] S. Yuasa et al., Future prospects of MRAM technologies, in: 2013 IEEE International Electron Devices Meeting, 2013, pp. 3.1.1–3.1.4 [2] H. Imamura, H. Arai, R. Matsumoto, J. Mag. Magn. Mater. 563, 170012 (2022). [3] H. Liu et al., J. Mag. Magn. Mater. 358–359, 233–258 (2014).