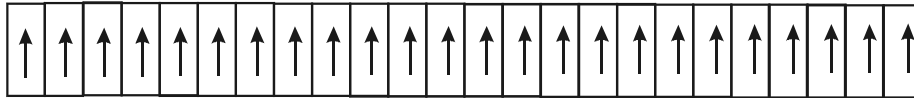


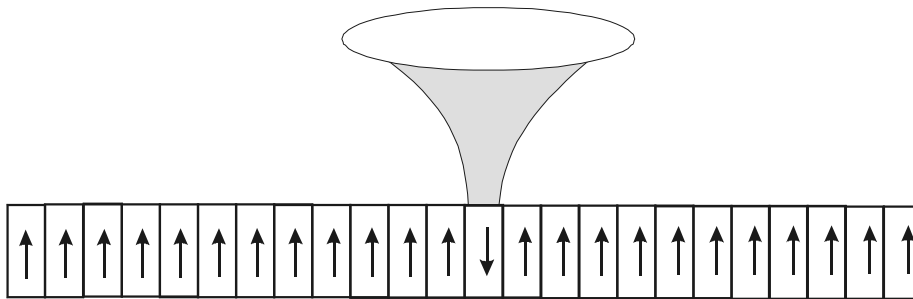
MOD

Schreiben:

Im Ausgangszustand sind die ferromagnetischen Domänen in der magnetooptischen Schicht alle gleich ausgerichtet und durch die Magnetisierung $+M_s$ gekennzeichnet.



Für das Schreiben eines Bits wird der Bereich einer ferromagnetischen Domäne mit Licht beleuchtet, so dass es eine lokale Erwärmung der magnetooptischen Schicht resultiert. Wird gleichzeitig ein externes Magnetfeld H entgegen der Orientierung der Domäne angelegt und größer als die Koerzitivmagnetfeld ist: $H > H_c$, so „klappt“ die Domäne um, d.h. die Orientierung der Domäne ist invertiert.



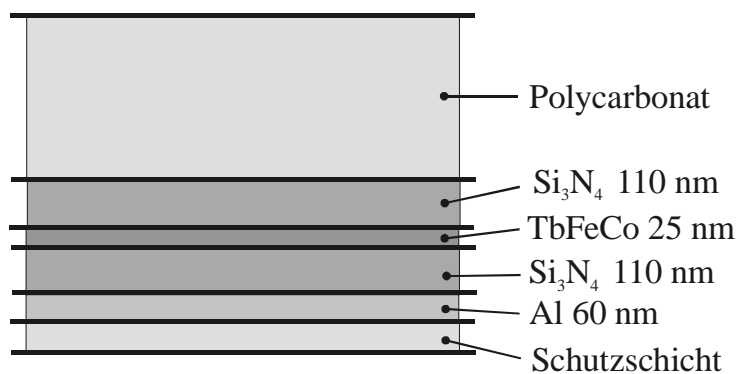
Lesen:

Über den magnetooptischen Kerreffekt (MOKE) wird die Lichtpolarisation in Reflexion je nach Orientierung der Magnetisierung gedreht.

Löschen:

Das Löschen funktioniert über den gleichen Mechanismus, wie das Schreiben, hier wird lediglich die Orientierung des Magnetfeldes invertiert.

Aufbau der MO-Schicht:



Eine der wesentlichen Anforderungen an die MO-Schicht ist, dass die Orientierung der Magnetisierung der ferromagnetischen Domänen senkrecht zur Schichtebene liegt. Die meisten Materialien haben jedoch eine Ausrichtung der Domänen in Richtung der Schichtebene aufgrund der Formanisotropie:

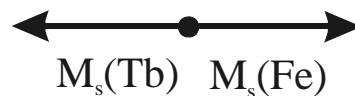
$$FA \approx \frac{1}{2} \mu_0 M_s^2$$

mit μ_0 der magnetischen Feldkonstante. Ausnahmen bildet hierbei z.B. Co. Diese Material hat jedoch wiederum den Nachteil, dass die Magnetisierung sehr klein ist und damit das Auslesen von Informationen über den MOKE-Effekt problematisch ist.

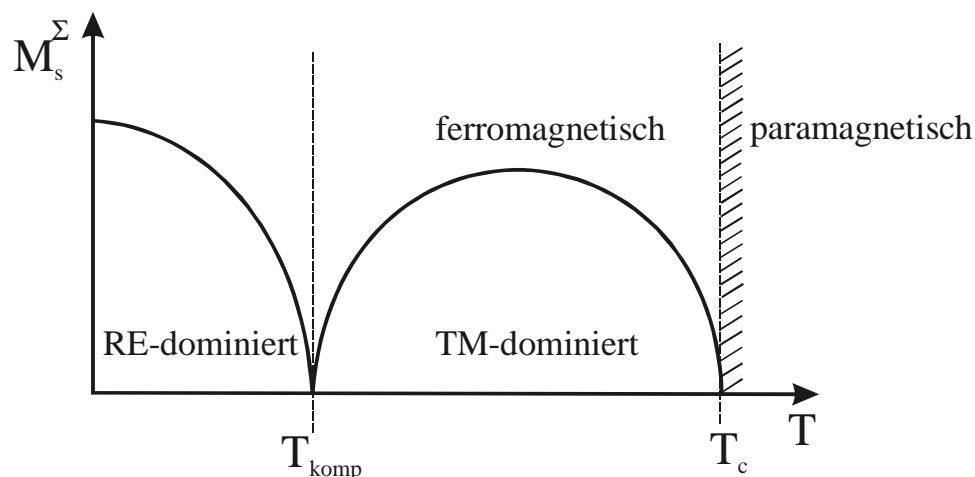
Gefordert sind also Materialien, bei denen die Orthogonalanisotropie größer als die Formanisotropie ist: $K > FA$, wobei dies von solchen Materialien gut erfüllt wird, bei denen die Magnetisierung klein ist.

Als Lösung bietet sich eine Kombination von Materialien an, bei denen das eine Material eine hinreichend grosse Magnetisierung liefert und das andere eine hohe Orthogonalanisotropie aufweist. Im folgenden soll daher eine Kombination aus Seltenen-Erd-Elementen (rare-earth, RE) und einem Übergangsmetall (transition metal, TM) diskutiert werden: $Tb_{75}Fe_{25}$ Die große Kerr-Rotation wird dabei vom Übergangsmetall durch die 3d-Elektronen bestimmt.

Durch die Kombination der beiden Elemente entsteht eine antiferromagnetische Kopplung, d.h. dass die Magnetisierungen der beiden Elemente entgegengesetzt orientiert sind.



Als Folge ist die Gesamtmagnetisierung des Materials sehr gering, d.h. $M_s^\Sigma \approx 0$, obwohl die Einzelmagnetisierungen groß sind. Eine weitere besondere Eigenschaft dieser Elementkombination ist die Temperaturabhängigkeit der Gesamtmagnetisierung:



Unterhalb der Phasenübergangstemperatur T_c treten zwei Maxima der Gesamtmaximierung auf, die darauf zurückzuführen sind, dass entweder das RE-Element oder das TM-Element die Gesamtmagnetisierung dominiert. Die Ursache für dieses charakteristische Verhalten liegt in dem Temperaturverhalten der Einzelmagnetisierungen. Bei $T = T_{komp}$ liegt eine Besonderheit vor, da hier die Gesamtmagnetisierung Null wird. Das bedeutet, dass bei dieser Temperatur

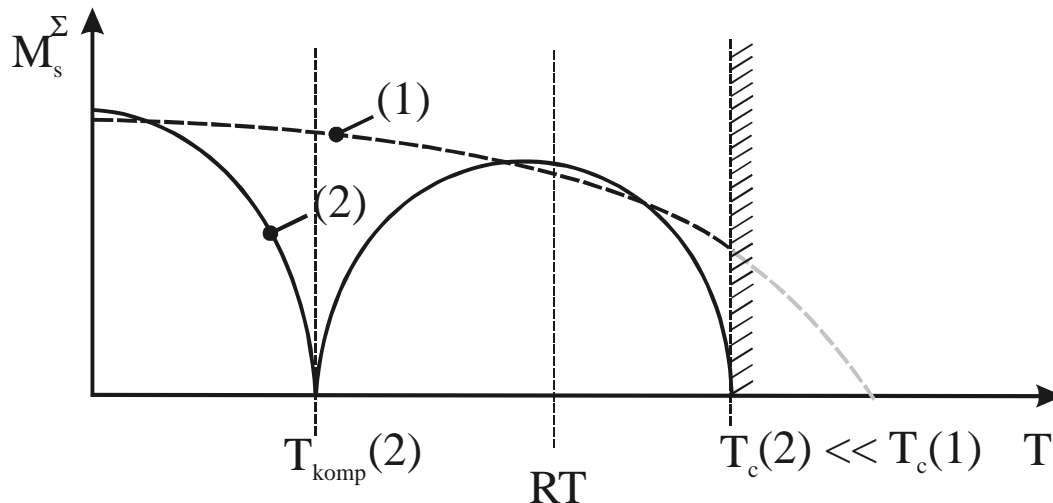
- externe Magnetfelder keinen Einfluss auf die Orientierung der ferromagnetischen Domänen ausüben können
- die Orthogonalanisotropie größer als die Formanisotropie ist.

Der MOKE Effekt, der im wesentlichen durch das TM-Element gegeben ist, ist von der Gesamtmagnetisierung hingegen weitgehend unabhängig, d.h. die Temperaturabhängigkeit der Kerr-Rotation ist nahezu konstant über den gesamten Temperaturbereich. Eine Besonderheit tritt jedoch bei $T = T_{\text{komp}}$ auf. Hier ändert sich das Vorzeichen der Kerr-Rotation, da der dominierende Beitrag der Gesamtmagnetisierung von RE auf TM wechselt. Es liegt also ein Phasensprung der Kerr-Rotation vor.

Die Lage der Kompensationstemperatur T_{komp} kann durch die Zusammensetzung der MO-Schicht gezielt beeinflusst werden. Wir betrachten im folgenden die beiden Zusammensetzungen:

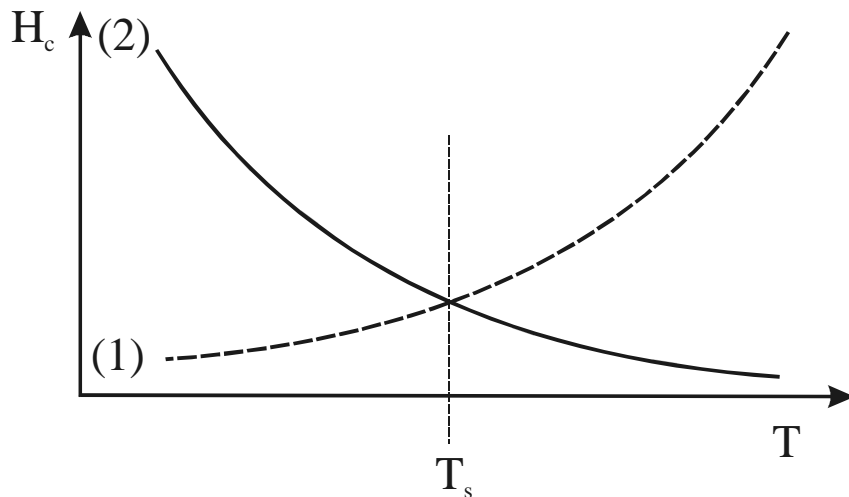
- (1) $\text{Tb}_{29,9}\text{Fe}_{62,6}\text{Co}_{7,5}$
- (2) $\text{Tb}_{21,2}\text{Fe}_{71,9}\text{Co}_{6,9}$

deren Temperaturabhängigkeit der Gesamtmagnetisierung einen unterschiedlichen Wert für T_{komp} aufzeigt:



Der Grund hierfür ist die unterschiedliche Temperaturabhängigkeit der Einzelmagnetisierungen, wobei die Koerzitivmagnetisierung von (1) bei deutlich höheren Temperaturen liegt im Vergleich zum System (2). Betrachtet man beide Systeme bei Raumtemperatur (RT), so liegt für (1) ein RE-dominiertes System und für (2) ein TM-dominiertes System vor.

Wir wollen im folgenden die Schalteigenschaften der beiden Systeme in einem externen Magnetfeld betrachten. Die Kenngröße ist die Koerzitivmagnetfeldstärke, also der Magnetfeldstärke, bei der die Orientierung der ferromagnetischen Domänen invertiert werden kann. Die Koerzitivfeldstärke ist eine Funktion der Temperatur, wobei diese für das System (1) mit der Temperatur zunimmt und für das System (2) mit der Temperatur abnimmt:

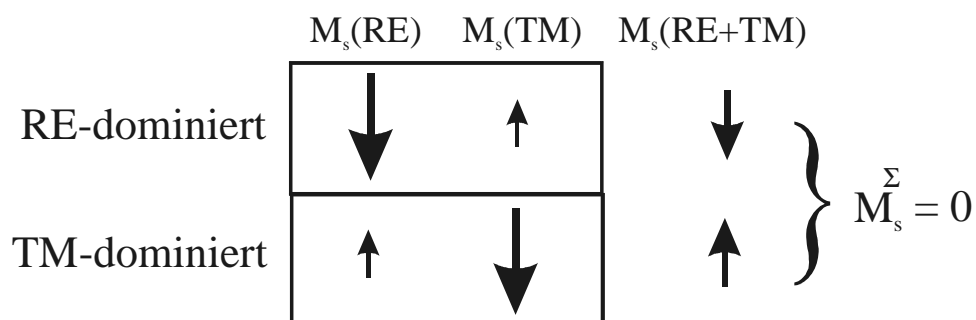


Bei der Temperatur T_s ist H_c für beide Systeme gleich. Unterhalb von T_s kann (1) durch ein externes Magnetfeld leicht geschaltet werden, oberhalb von T_s das System (2). Das bedeutet aber auch, dass das System (2) bei Raumtemperatur eine stabile Domänenkonfiguration erlaubt und durch Heizen zu höheren Temperaturen in einen Zustand gesetzt werden kann, bei dem es leicht zu schalten ist. Damit erfüllt das System (2) alle wichtigen Kriterien für eine MO-Schicht:

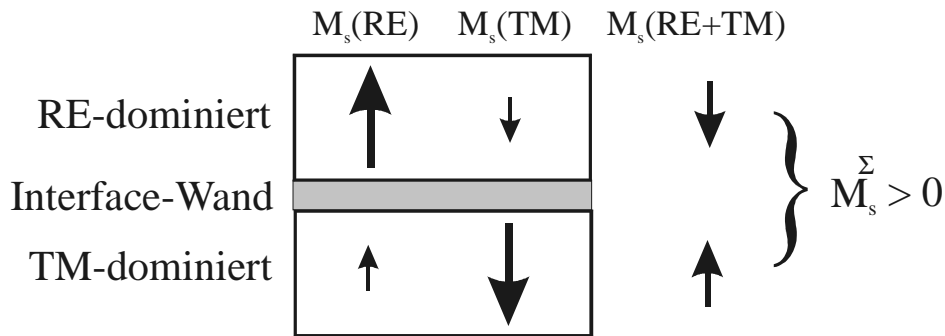
- hohe Orthogonalanisotropie
- großer MOKE
- hohe Domänenstabilität
- gezielt schaltbar

Weitere Forderungen an die MO-Schicht sind, dass das Material schnell wiederbeschreibbar sein soll. Nicht gewünscht ist daher die Möglichkeit die gesamte MO-Schicht homogen zu löschen (1. Schritt) und danach vollständig wiederzubeschreiben (2. Schritt). Gewünscht ist vielmehr, dass auf einzelne Datenbits direkt zugegriffen werden kann, unabhängig von ihrem Ausgangszustand.

Die Lösung sind sogenannte „coupled antiparallel layers“, bei denen eine RE-dominierte Schicht mit einer TM-dominierten gekoppelt wird.



Im Ausgangszustand kompensieren sich die Magnetisierungen der RE- und der TM-dominierten Schicht zu Null. Durch das Anlegen eines externen Magnetfeldes bei Raumtemperatur kann die RE-dominierte Schicht geschaltet werden, so dass die Orientierung invertiert wird. Als Folge baut sich eine Interface-Wand der Dicke d zwischen beiden Schichten auf, die sich nun gegenseitig abstossen.



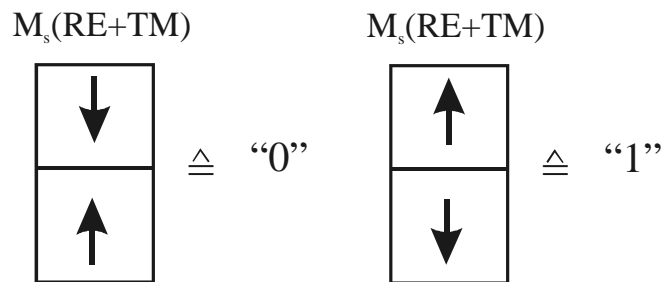
Für den Aufbau der Interface-Wand wird eine zusätzliche Energie σ_w benötigt, die zusätzlich zur Schaltenergie für die Domäneninversion aufgebracht werden muss. Bei einem Schaltvorgang in den Ausgangszustand wird diese Energie aber auch wieder frei, so dass die beiden Magnetfeldstärken sich wie folgt unterscheiden:

$$\text{Aufbau: } H = H_c + \frac{\sigma_w}{2M_s d}$$

$$\text{Abbau: } H = H_c - \frac{\sigma_w}{2M_s d}$$

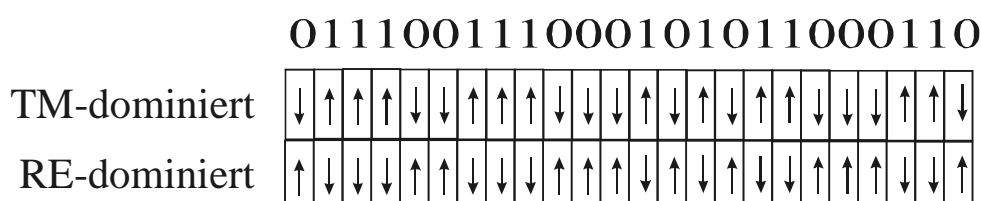
laser intensity modulation for direct overwrite

Das zuvor beschriebene MO-System ermöglicht das Verfahren „LIM“, das das direkte Überschreiben von Datenbits erlaubt („laser intensity modulation for direct overwrite“). Dabei werden die Bits „0“ und „1“ den beiden Zuständen der coupled layer zugeordnet:



Für das Auslesen muss hierbei die Orientierung der Magnetisierung des TM-Systems beachtet werden. Bei einer „0“ ist diese nach oben, bei einer „1“ nach unten ausgerichtet, so dass über den MOKE Effekt die Zustände „0“ und „1“ eindeutig identifiziert werden können.

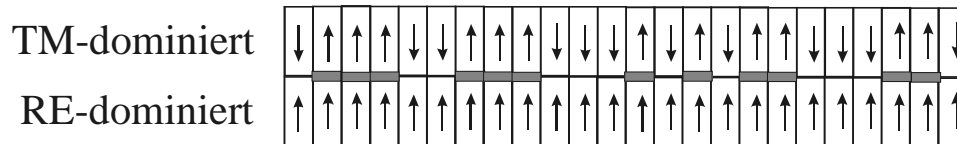
Betrachten wir eine MO-Schicht, bei der auf einer RE-dominierten Schicht als Referenzschicht eine TM-dominierte Schicht als Speicherschicht aufgebracht ist und mit einer bestimmten Verteilung von Datenbits vorliegt:



In zwei Schritten kann nun jedes einzelne Bit unabhängig vom Ausgangszustand neu beschrieben werden.

1. Schritt:

Anlegen eines externen Feldes $H_{\text{ext}} > H_c(\text{RE-dominiert})$, das die Referenzschicht, die RE-dominierte Schicht, homogen ausrichtet.



Die Folge ist der Aufbau von Interface-Wänden an den ferromagnetischen Domänensystemen, die einer „1“ entsprechen.

2. Schritt

a) lokales Schreiben einer „0“

Der Laserstrahl wird auf die Stelle fokussiert, an der ein Bit neu geschrieben werden soll. Genutzt wird eine kleine Schreibleistung ohne externes Magnetfeld. Daraus resultiert eine geringfügige Erwärmung der TM-dominierten Schicht, so dass sich die ferromagnetischen Domänen in dieser Schicht ausrichten und die Energie der Interface-Wand freigesetzt wird. Die Domänen in der Referenzschicht werden hierdurch nicht beeinflusst, da die kritischen Temperaturen unterschiedlich sind: $T_c(\text{TM-dominiert}) \ll T_c(\text{RE-dominiert})$.

b) lokales Schreiben einer „1“

Der Laserstrahl wird auf die Stelle fokussiert, an der ein Bit neu geschrieben werden soll. Genutzt wird eine hohe Schreibleistung mit externem Magnetfeld. Als Folge werden beide Schichten oberhalb der kritischen Temperatur erwärmt, so dass sie paraelektrisch werden. Beim Abkühlen richten sich die ferromagnetischen Domänen in beiden Schichten entlang des extern angelegten Magnetfeldes aus. Hierbei ist zu bemerken, dass sich die Domänen in der RE-dominierten Schicht zuerst wieder bilden und die Domänen in der TM-dominierten Schicht sich dann entgegengesetzt zu diesen (antiferromagnetisch) und dem externen Magnetfeld ausrichten, da die Energie der Interfacewand nicht aufgebracht werden kann.

Damit ist gezeigt, dass antiferromagnetisch gekoppelte Schichten direkt wiederbeschrieben werden können und zwar unabhängig von dem Ausgangszustand der Information. Ebenfalls wird deutlich, dass das Wiederbeschreiben von „0“ und „1“ lediglich über eine Leistungsregulierung des Laserlichtes und dem Ein- und Ausschalten des externen Magnetfeldes erfolgt.