



Leseprobe

Hansgeorg Hofmann, Jürgen Spindler

Werkstoffe in der Elektrotechnik

Grundlagen - Struktur - Eigenschaften - Prüfung - Anwendung -  
Technologie

ISBN (Buch): 978-3-446-43220-8

ISBN (E-Book): 978-3-446-43748-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43220-8>

sowie im Buchhandel.

# 11.4 Magnetwerkstoffe für Speicher

## Kompetenzen

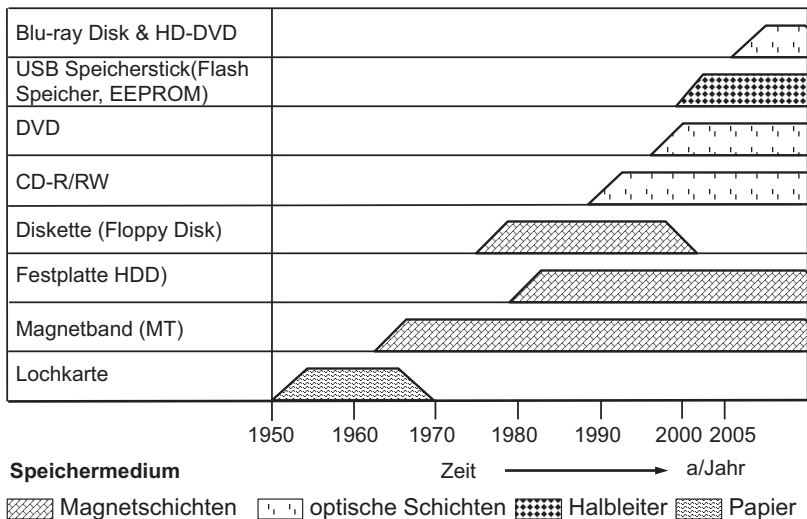
Neben vielen Möglichkeiten der Informationsspeicherung wird die Bedeutung der ferro- und ferri-magnetischen Werkstoffe dafür erkannt. Die Nutzung von Ferriten, wie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{CrO}_2$  lässt sich anhand der Hysteresekurven verstehen.

Die Kenntnis der physikalischen Vorgänge beim „Schreiben“ und „Lesen“ im magnetischen Speichermedium bilden die Voraussetzung für das Verständnis der Wirkungsweise der unterschiedlichen Speicherarten.

Mit der Entwicklung und Anwendung der Nanotechnik und Nutzung von Quanteneffekten (GMR) ergeben sich neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Speicherdichte, deren Bedeutung erkannt wird.

Ein Speichermedium dient zur Sicherung und Bereitstellung von Informationen bzw. Daten, ist aber gleichzeitig auch Synonym für Datenträger. Datenträger oder Speichermedien sind technische Mittel zur Datenspeicherung. In der Unterhaltungselektronik (Audio, Video usw.) lassen sich die entsprechen Daten mit Hilfe elektronischer Geräte abspielen bzw. auch speichern. Computer (PC) bzw. Computeranlagen gestatten das Lesen und Schreiben von Daten jeglicher Art (Unterhaltung, Bankdaten, Erhebungen, Archivalien usw.), die von internen oder peripheren Speichern verwaltet werden.

Dafür nutzt man viele unterschiedliche Effekte, wie optische und mechanische sowie Supralei-



**Bild 11.4-1** Entwicklung der Speichermedien (Auswahl)

tung, Halbleitung, Ferroelektrizität und Magnetismus (siehe Bild 11.4-1). Allen gemeinsam ist der Zyklus der Informationsspeicherung:

*Einschreiben, Speichern und Lesen.*

Die Vor- und Nachteile eines Speichers resultieren aus drei Hauptmerkmalen des Speichervorganges:

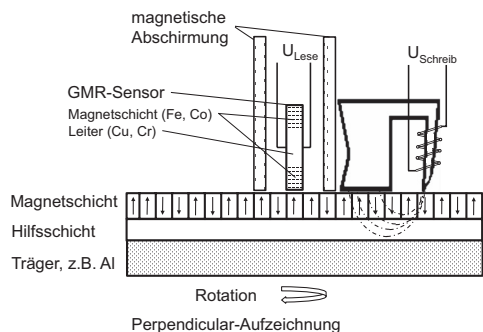
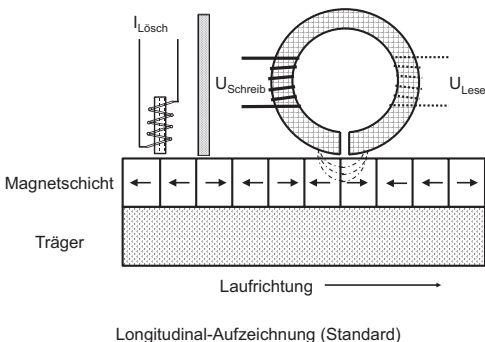
- Speicherkapazität, als maximale Informationsmenge in bit
- Zugriffszeit, als Zeitdifferenz zwischen Auf-rufbefehl und Erscheinen der Information
- Zykluszeit, als Zeitdifferenz zwischen zwei Auslesevorgängen.

Vom heutigen Erkenntnisstand aus stellt der einzelne Baustein des Festkörpers (Atom oder Ion) die Grenze an möglichen Speicherelementen dar. In einem Mol eines Stoffes befinden sich  $6 \cdot 10^{23}$  Teilchen (siehe Kapitel 1).

Im Durchschnitt befinden sich damit in  $1 \text{ cm}^3$  Stoff  $10^{22}$  Teilchen, d. h.  $10^{22} \text{ bit} \cdot \text{cm}^{-3}$ , praktisch nutzbar sind heute  $10^{14} \text{ bit} \cdot \text{cm}^{-3}$  (siehe GMR-Effekt). Die Zugriffszeit auf das Elektron in Form des Leitungselektrons liegt bei  $10^{-10} \text{ s}$ , nutzt man das Spinnmoment (Magnetismus), liegt sie bei  $10^{-9} \text{ s}$ .

Im Weiteren steht die Nutzung magnetischer Effekte zur Informationsspeicherung im Vordergrund.

Bei den Magnetspeichern hat man in Form der Weisschen Bezirke oder bei den ferrimagnetischen Schichten die Ferritkristalle als kleinste Speicherzellen. Ein äußeres Magnetfeld verändert ihre Orientierung. Bei der Perpendicular-Aufzeichnung stehen die magnetischen Momente, die jeweils ein logisches Bit reprä-



**Bild 11.4-2** Prinzip der magnetischen Datenspeicherung

sentieren, nicht parallel zur Oberfläche des Datenträgers, wie bei der Longitudinal-Aufzeichnung, sondern senkrecht dazu, gewissermaßen gehen die Daten in die Tiefe. Dies führt zu einer potenziell wesentlich höheren Datendichte (etwa drei mal so dicht); bei gleicher Oberfläche lassen sich also mehr Daten aufzeichnen (siehe Bild 11.4-2).

Beim Einschreiben der Information baut der Schreib-/Lesekopf das entsprechende Feld auf und bewirkt eine bleibende Umorientierung der magnetischen Speicherzellen in der magnetisierbaren Schicht (siehe Bild 11.4-2). Der Lesevorgang verläuft umgekehrt. Durch bewusstes Anlegen starker magnetischer Wechselfelder beim Löschvorgang (Löschkopf) gehen die Oxid-Kristalle aus der Remanenz in einen Zustand der Partikel ohne Wirkung einer magnetischen Vorzugsrichtung nach außen über.

Die Bedeutung der Magnetspeicher liegt u. a. darin, dass in löschbaren Massenspeichern mit hoher Speicherdichte der unmittelbare Zugriff auf große Datenmengen möglich ist. Bisher wurde dieser Bedarf durch Festplattenspeicher, Floppy-Disk-Laufwerke und Magnetbandgeräte gedeckt. In Konkurrenz zu diesen Systemen sind die löschbaren magneto-optischen Speicher getreten. Die Weiterentwicklung moderner Magnetspeicher zielt auf eine Vergrößerung der Aufzeichnungsdichte, eine Verkürzung der Zugriffszeit und Erhöhung der Datenrate, bei unverändert hoher Datensicherheit. Eine Übersicht zur Nutzung des Magnetismus zur Datenspeicherung enthält Tabelle 11.4-1.

**Tabelle 11.4-1** Möglichkeiten der magnetischen Datenspeicherung

Medium	Kompaktmagnet	Magnetschichten		
		nicht rotierend		rotierend
	magneto-elektronisch			
Information	digital	digital	analog	digital
Ausführungsformen	Kernspeicher	Magnetband Magnetkarte Magnetstreifen Compact Cassette (Datasette) Magnetblasenspeicher	Tonband (Musikkassette) Videoband (Videokassette)	Trommelspeicher Festplatte (hard disk) Diskette (floppy disk) Wechselplatte, z. B. Zip-Diskette (von iomega)

### Magnetbandspeicher

Beim Magnetband-Speicherverfahren wird auf ein flexibles Band mit magnetisierbarer Schicht beim Vorbeilaufen an einem Schreib-/Lesekopf die Information eingeschrieben. Beim Lesevorgang kann man die gespeicherten Daten wieder entnehmen. Sehr hohe Bedeutung für den Speichervorgang haben die Magnetbandparameter und die Eigenschaften der Magnetschicht. Die Magnetbandparameter werden durch die Art des Trägermaterials und durch die magnetischen Speicherparameter der Magnetschicht bestimmt. Den prinzipiellen Aufbau eines Magnetbandspeichers zeigt Bild 11.4-3.

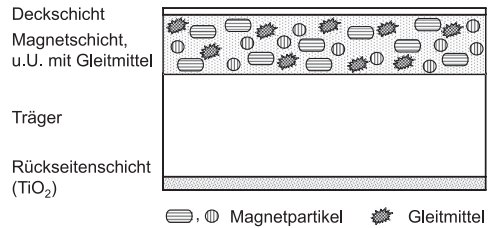
Als Träger für die Magnetschicht dient eine 8 bis 15  $\mu\text{m}$  dicke, zugfeste PET-Folie (Terylen®, Mylar®), vordem kam Folie aus Zelluloseacetat zur Anwendung. Die Magnetschicht besteht aus Eisenoxid- ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) oder Chromdioxid- ( $\text{CrO}_2$ )-Partikeln von ca. 1  $\mu\text{m}$  Korngröße. Die Oxidschicht bilden nadelförmige Kristalle mit einem Längen-Dickenverhältnis von etwa 10 : 1, was sich günstig auf die Koerzitivfeldstärke auswirkt.

Ein entscheidender Vorteil der Anwendung von  $\text{CrO}_2$  liegt in der bedeutend höheren Koerzitivfeldstärke gegenüber  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (siehe Bild 11.4-4). Bei früher verwendeten Magnetbändern erfolgte die Fixierung der Magnetschicht mithilfe von Bindemitteln. Moderne Verfahren nutzen PVD-Techniken zur Abscheidung dünnerer Schichten mit verbesserter Haftung.

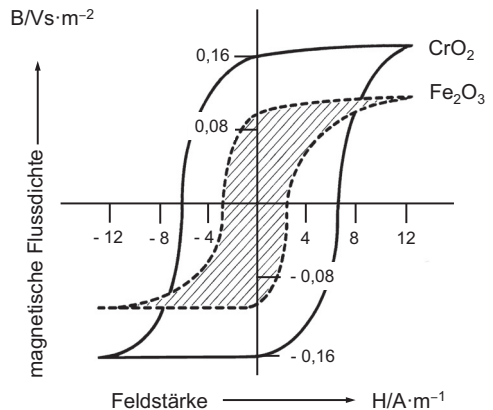
Mithilfe von Magnetbändern (MT, magnetic tape) in Bandlaufwerken als Speichermedium erfolgt die Aufzeichnung (Speichern), Wiedergabe (Lesen) und das Löschen von Informationen von Digitaldaten von analogen Signalen und von Audio- und Videosignalen, in Überwachungs- und Sicherungsanlagen und für die Datensicherung.

Oberflächenrauigkeit, Größe der Magnetpartikel, Magnetspurbreite und die Größen der Magnetisierbarkeit, wie Koerzitivfeldstärke und Remanenzinduktion der Magnetschicht, bestimmen im Wesentlichen die Qualität und Zeitbeständigkeit der Magnetbandaufzeichnung.

Seit etwa 1950 kommt das Magnetband als Speichermedium zur Anwendung. Insbesondere für den Einsatz als Massenspeicher im PC wurde es durch die Festplatte verdrängt. An-



**Bild 11.4-3** Prinzipieller Aufbau eines Magnetbandspeichers



**Bild 11.4-4** Hysteresekurven von Werkstoffen für Magnetspeicherschichten

strebungen zur Erhöhung der Speicherdichte führten dazu, dass sich Magnetbänder auch heute noch für Datensicherung und Archivierung eignen.

### Diskettenspeicher

Bei diesem Folienspeicher rotiert eine flexible Folie, die mit einer magnetisierbaren Schicht aus  $\text{CrO}_2$  versehen ist. Sie befindet sich in einer Hülle und wird mit dieser in das Speichergerät eingeschoben. Speicherkapazitäten liegen hierbei im Bereich von  $> 10^6$  bis einige  $10^8$  bit, bei Zugriffszeiten im Sekundenbereich. Leistungsfähigere Speichermedien führten zur ihrer Verdrängung.

### Plattenspeicher

Festplattenlaufwerke (*engl.*: hard disk, HD) sind magnetische Speichermedien der Computertechnik. Bei diesen Plattenspeichern ist das Trägermaterial eine rotierende Aluminiumscheibe, die mit einer hartmagnetischen Schicht aus  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , bevorzugt  $\text{CrO}_2$  versehen ist. Das Übereinanderstapeln mehrerer Platten ermöglicht zusammen mit im Gerät installierten Schreib-/Leseköpfen hohe Speicherkapazitäten ( $> 10^9$  bit) bei Zugriffszeiten im Millisekundenbereich. Durch die zunehmende Miniaturisierung sind Plattenspeicher auch für mobile Kleinstanwendungen interessant.

Der Entwicklungstrend der Werkstoffe für Magnetschichten geht zu immer höheren Aufzeichnungsdichten durch Anwendung dünner Metallfilme. Man bewegt sich also auf diesem Gebiet weg vom Ferrit. Typische Beispiele dafür sind CoNi-, CoNiCr-, CoP-, CoPt- und CoCr-Legierungen. Die CoCr-Legierungen sind u. a. deshalb interessant, weil neben der herkömmlichen horizontalen Aufzeichnung (longitudinal recording) die Vertikalaufzeichnung (perpendicular [vertical] recording) möglich ist. Mit aufgedampftem oder aufgesputtertem CoCr kann man kristallorientierte Schichten erzeugen.

### Magnetooptische Platte

Im Gegensatz zu CD-ROM wird die Information magnetisch gespeichert, aber sowohl das Einschreiben als auch das Lesen erfolgen thermisch durch Anwendung des Laserstrahles. Werkstoffe für solche Schichten sind GdFeCo

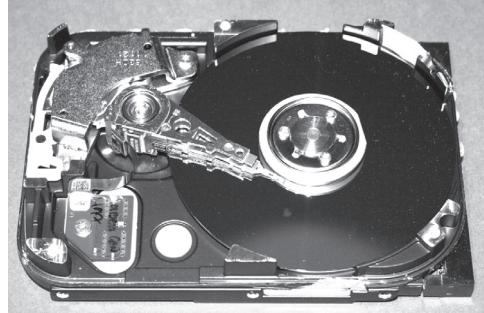


Bild 11.4-5 Festplattenlaufwerk

und TbFeCo, die sich durch eine hohe Koerzitivfeldstärke bei Raumtemperatur und eine geringe bei erhöhter Temperatur auszeichnen.

Das Einschreiben beruht auf lokaler Erwärmung in Nähe der CURIE-Temperatur mithilfe eines Lasers. Dieser räumlich sehr kleine Bereich erfährt durch das Anlegen eines Magnetfeldes eine Orientierung, die beim Abkühlen einfriert.

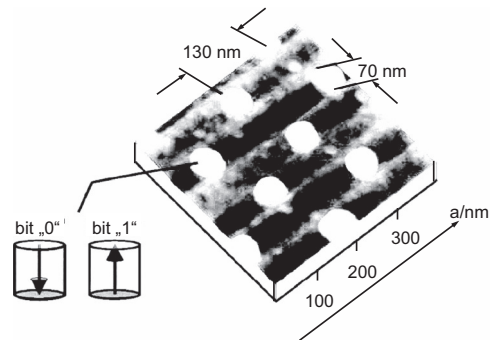
Das Auslesen erfolgt optisch (KERR-Effekt). Der magnetooptische KERR-Effekt nutzt die Drehung der Polarisationssebene von Licht aus, das an der magnetischen Plattenoberfläche reflektiert wird.

### Magnetische Nanostrukturen

Ziel einer Entwicklung ist es, kleinste räumlich voneinander getrennte magnetische „Nanoteilchen“ herzustellen, die innerhalb einer nicht-magnetischen Matrix integriert sind und von denen jedes eine einzelne Informationseinheit 1 Dot = 1 bit darstellt, siehe Bild 11.4-6.

Die magnetische Nanostruktur aus aufgedampften Co/Pt-Schichten entsteht mithilfe einer fotolithografischen Maske.

Der Vorteil besteht in einer wesentlichen Erhöhung der Aufzeichnungsdichte. Die Dots sollen eindomänig mit rechteckiger Hysteresesein sein. Ihr Durchmesser beträgt ca. 70 nm und sie sind in einem Abstand von ca. 130 nm in der Matrix angeordnet.



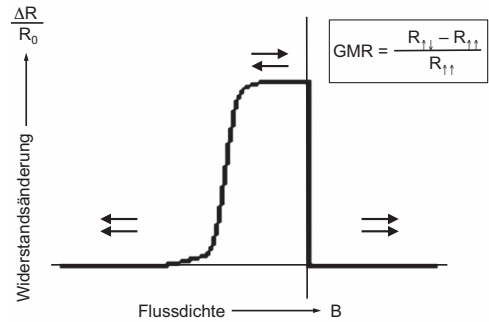
**Bild 11.4-6** Magnetische „Nano-Speicher“

### GMR-Effekt\*)

Mit der Nutzung des GMR-Effektes hauptsächlich zur Herstellung von Magnetfeldsensoren ergab sich die Möglichkeit, Informationen in magnetischen Schichten dichter zu speichern. In einer Folge von magnetischen und nicht-magnetischen Schichten mit Schichtdicken im Nanometerbereich kommt es bei geringen Feldstärkeänderungen zu einer Änderung der Magnetisierungsrichtung in der ferromagnetischen Schicht. Zwischen zwei ferromagnetischen Schichten (Fe, Co) mit einigen Nanometern Schichtdicke befindet sich immer eine ähnlich dicke nichtferromagnetische Schicht (Cu, Cr).

\*) 1988 von Peter Grünberg und Albert Fert entdeckt, Nobelpreis für Physik 2007

Der Effekt bewirkt eine sprunghafte Änderung des elektrischen Widerstandes in Abhängigkeit von der gegenseitigen Orientierung der Magnetisierung (Spinorientierung) in den magnetischen Schichten des Sensors. Die Widerstandsänderung im Leiter liefert das als Information verwertbare Signal.



**Bild 11.4-7** Widerstandsänderung in einem GMR-Sensor

### Übung 11.4-1

Wodurch sind die Grenzen für die Speicherkapazität gegeben?

### Übung 11.4-2

Erläutern Sie die Funktion der einzelnen Schichten eines Magnetbandes!

### Übung 11.4-3

Worin bestehen die Vorteile von  $\text{CrO}_2$ -Schichten für Magnetbänder im Vergleich zu denen mit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ?

## Zusammenfassung: Magnetspeicher

- Magnetspeicher sind hauptsächlich Bandspeicher, Plattenspeicher, Kartenspeicher und Nano-speicher.
- Wesentliche Speicherwerkstoffe sind die Ferrite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{CrO}_2$  bzw. Metallschichten auf der Basis von Co-Legierungen.
- Die Möglichkeit, Informationen zu speichern, ergibt sich daraus, durch ein elektrisches Feld im Werkstoff ein magnetisches Feld zu erzeugen. Eine hohe Koerzitivfeldstärke sichert eine gegenüber Fremdfeldern stabile Remanenzinduktion.
- Speicherdichte und die Datensicherheit über die Zeit sind zwei entscheidende Gütekriterien für die Anwendung von Magnetspeichern.