

■ Seltene Spezialisten

Seltene Erden sind dank ihrer spezifischen Eigenschaften nicht mehr aus allgegenwärtigen Technologien wegzudenken.

Ohne Permanentmagnete würde es die Unterhaltungselektronik in ihrer heutigen Form nicht geben: In Kopfhörern und Lautsprechern, in den Schreib-Lese-Köpfen von Festplatten oder in den Antrieben von CD- und DVD-Laufwerken verrichten sie ihren Dienst. Dass solche Baugruppen immer kleiner werden bzw. in Festplatten höhere Speicherdichten erlauben, liegt auch an den eingesetzten Dauer magnets. Die Legierungen, die ihnen die nötige Stärke verleihen, enthalten meistens Neodym.

Neodym gehört zu den Seltenen Erden – einer Gruppe aus 17 chemischen Elementen, zu denen auch die Lanthanoide zählen (Abb. 1). Dass diese sich in ihren chemischen Eigenschaften nicht vom Lanthan unterscheiden, liegt an ihrer Elektronenstruktur: Ihr äußeres s-Orbital ist voll besetzt, ihre verschiedenen Elektronenzahlen kommen durch die Besetzung von f-Orbitalen zustande. Die 4f-Orbitale der Lanthanoide werden besetzt, weil sie energetisch niedriger liegen als die 5d- und 6s-Orbitale. In den 4f-Orbitalen finden bis zu 14 Elektronen Platz, es können also maximal sieben ungepaarte Spins auftreten. Die Reihenfolge der Orbitalbesetzung ergibt sich aus den



M. Stark/pixelio

Unterhaltungselektronik und Computertechnik kommen ohne Seltene Erden nicht aus. Auch in vielen anderen Be-

reichen des Alltags sind Seltene Erden aufgrund ihrer spezifischen Eignung nicht mehr wegzudenken.

Hundschen Regeln, die den Spins, Bahndrehimpulsen und magnetischen Momenten der Elektronen und deren Kopplungen Rechnung tragen.

Das Lanthanoid Neodym besitzt ein hohes magnetisches Moment, weil das f-Orbital unvollständig mit vier ungepaarten Elektronen besetzt ist. In einer Legierung aus Neodym, Eisen und Bor führt das zu einer ausgeprägten magnetischen Vorzugsrichtung. Tatsächlich lassen sich aus dieser Legierung die derzeit stärksten Dauermagnete

herstellen. Das Material ermöglicht magnetische Flussdichten von bis zu 1,4 Tesla, während Ferrit- oder Keramikmagnete nur 0,5 bis 1 Tesla erreichen.

Prinzipiell muss ein Permanentmagnet eine hohe Remanenz (also eine hohe magnetische Flussdichte), eine hohe Koerzitivfeldstärke (um durch äußere Magnetfelder möglichst wenig entmagnetisiert zu werden), eine hohe magnetische Energiedichte und eine hohe Curie-Temperatur aufweisen. Dauermagnete aus einer Legierung, die Cobalt und das Lanthanoid Samarium enthält, erreichen deutlich höhere Curie-Temperaturen als Neodym-Eisen-Bor-Legierungen, schneiden aber bei den anderen Kenngrößen schlechter ab und sind teurer in der Herstellung. Dauermagnete mit Seltenen Erden finden übrigens in Hybridantrieben Verwendung. Angeblich steckt in einem Toyota Prius rund ein Kilogramm Neodym.

Vielfältig einsetzbar...

Damit sind die Einsatzgebiete für Seltene Erden aber längst nicht erschöpft. Man findet sie in Abgaskatalysatoren, Rußpartikelfiltern, Spezialstählen, Akkus, als Leuchtstoffzugaben in Energiesparlampen und Flüssigkristallbildschirmen. Als

Carlton	1																	2
	H																	He
	3	4															10	
	Li	Be															Ne	
	11	12															18	
	Na	Mg															Ar	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	104	105														
Fr	Ra	Ac	Rf	Db														
Lanthanide		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
Actinide series		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Abb. 1 Neben Scandium (Ordnungszahl 21), Yttrium (39) und Lanthan (57) gehören die Elemente mit den Ordnungszahlen 58 bis 71 – die Lanthanoide – zu den Seltenen Erden. Scandium, Yttrium und Lanthan haben als Elemente der ers-

ten Nebengruppe jeweils ein voll besetztes äußeres s-Orbital und ein Elektron im äußersten d-Orbital. Lanthan besitzt z. B. ein Elektron im 5d-Orbital und zwei Elektronen im 6s-Orbital.

Oxid spielt das Lanthan auch in optischen Gläsern eine wichtige Rolle, z. B. in Fotoobjektiven, Fernrohren, Scan- und Projektionsoptiken.

Brechungsindex und Dispersion charakterisieren optische Materialien, wobei die Eigenschaften von Einzellinsen maßgeblich die Abbildungsqualität eines optischen Systems beeinflussen. Um ein optisches System mit möglichst wenigen Bildfehlern zu bauen, müssen die Hersteller Linsen gegenläufiger Eigenschaften miteinander kombinieren. Bei hohen Brechungsindizes können die Linsenradien größer ausfallen, was den Abbildungsfehler der sphärischen Aberration verringert. Eine geringe Dispersion wiederum hat weniger Farbfehler (chromatische Aberration) zur Folge. Da sich Blei leicht polarisieren lässt, diente es früher als Zuschlagstoff in optischen Gläsern, um einen hohen Brechungsindex zu erreichen. Allerdings ist Blei giftig und daher unerwünscht. Lanthan ist nur wenig toxisch und ermöglicht vergleichbare Brechungsindizes und sogar eine geringere Dispersion als Blei. Die anderen Elemente der Seltenen Erden eignen sich allerdings weniger für optische Gläser, da sie deutlich teurer sind als Lanthan und oft farbig – zumindest Letzteres ist ein absolutes K.o.-Kriterium.

...schlecht zu ersetzen

Was Seltene Erden oft so begehrt macht, ist die Tatsache, dass sie bei bestimmten Anwendungen ohne Alternative sind. Cer ist in Form

von CeO_2 unverzichtbar als Poliermittel in der Optikfertigung.

In der Photonik stößt man ebenfalls auf Seltene Erden, z. B. in den Laserverstärkern, die in die Glasfasernetze der Datenautobahn integriert sind. Die Übertragung der Bits und Bytes erfolgt mit Laserlicht einer Wellenlänge von 1,5 Mikrometern, wo die Glasfasern ihr Absorptionsminimum haben. Damit diese Signale große Distanzen überbrücken können, müssen sie immer wieder verstärkt werden. Früher war es erforderlich, das optische Signal etwa alle 50 Kilometer über eine Photodiode ins Elektrische zu wandeln, zu verstärken und über einen Laser wieder in ein optisches Signal zu konvertieren. Das war aufwändig und teuer. Allein das Seltene Erdmetall Erbium besitzt die nötigen optischen Eigenschaften, um Signale in den Glasfasern zu verstärken. Dazu pumpt ein Halbleiterlaser den mit Erbium dotierten Kern der Glasfaser und den betreffenden Leitungsabschnitt. Erbium bildet als Lasermaterial ein Drei-Niveau-System, das die vorbeikommenden Photonen durch stimulierte Emission verstärkt (Abb. 2).

Gefragt, aber nicht selten

Die riesige Spanne an Anwendungen erklärt das technologische Interesse an Seltenen Erden, zumal der Bedarf durch neue Energie- und Mobilitätskonzepte sowie Fortschritte der Kommunikations- und Informationstechnologien weiter steigen wird. Die einst irrtümlich als selten bezeichneten Metalle sind

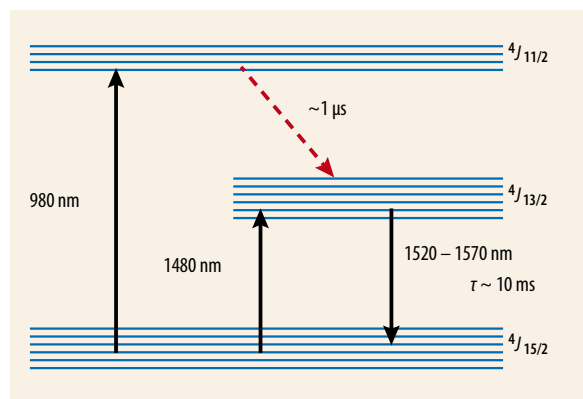


Abb. 2 Durch optisches Pumpen bei 980 nm gelangen Erbium-Ionen aus dem Grundzustand ($J = 15/2$) in den angeregten Zustand ($J = 11/2$). Von dort relaxieren sie rasch strahlungslos in das tiefer liegende Energieniveau mit $J = 13/2$. Pumpen bei 1480 nm regt die Ionen gleich in diesen Zustand an. Der angeregte Zustand zerfällt erst nach etwa 10 ms spontan und kann daher Photonen einer Wellenlänge von 1,5 μm durch stimulierte Emission verstärken: Die angeregten Elektronen geben ihre Energie als Photon kohärent zum einfallenden Photon ab.

keineswegs rar. Allerdings kommen sie kaum in großen Lagerstätten vor, sondern sind oft anderen Mineralien beigemischt. Derzeit findet der Abbau der begehrten Elemente hauptsächlich in China statt, was einen chinesischen Anteil am Welthandel von 97 Prozent zur Folge hat. Das erklärt die besondere wirtschaftspolitische Bedeutung der Seltenen Erden, auch wenn einige von ihnen in der Erdkruste häufiger vorkommen als Blei. Selbst die seltensten stabilen Lanthanoide sind übrigens noch hundertmal häufiger als Gold.

*

Ich danke Jürg Leuthold vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) für wertvolle Hinweise zu Erbium-dotierten Glasfaserverstärkern.

Michael Vogel

Michael Vogel,
vogel_m@gmx.de