



Božena Arnold

Zirkon, Zirkonium, Zirkonia – ähnliche Namen, verschiedene Materialien



Springer Spektrum

Zirkon, Zirkonium, Zirkonia –
ähnliche Namen, verschiedene
Materialien

Božena Arnold

Zirkon, Zirkonium, Zirkonia – ähnliche Namen, verschiedene Materialien



Springer Spektrum

Bożena Arnold
Waldbronn, Deutschland

ISBN 978-3-662-59578-7 ISBN 978-3-662-59579-4 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59579-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Stephanie Preuß

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Mineralien können uns als schöne Edelsteine bezaubern und als wertvolle Werkstoffe dienen. Ihre Härte, optische Eigenschaften, chemische und thermische Beständigkeit und andere besondere Merkmale sind für bestimmte Anwendungen unersetzlich. Dies alles fasziniert mich an diesen Materialien, die natürlicher Herkunft sein oder künstlich hergestellt werden können.

Die Idee des Buches begann mit meinem Interesse an einem diamantähnlichen Edelstein namens „Zirkon“. Als Mineral gehört er zur Gruppe der Silikate und hat wegen seines möglichen hohen Alters eine große Bedeutung für die Geochronometrie.

Sein Konkurrent als Edelstein trägt den Namen „Zirkonia“. Er kommt in der Natur so nicht vor und materialtechnisch gesehen gehört er zur Gruppe der Oxide.

Das Metall „Zirkonium“ spielt in der Nukleartechnik eine wichtige Rolle und sein Oxid bildet eine bedeutende Gruppe keramischer Werkstoffe.

Die erwähnten Namen sind verblüffend ähnlich und es ergeben sich fast zwangsläufig Verwechslungen, die wiederum oft zu fehlerhaften Informationen führen. Dies fand ich spannend, aber auch irritierend. Also habe ich beschlossen darüber zu schreiben, um etwas zur Unterscheidung dieser Materialien beizutragen.

Die Namensgebung ist oft ein Abenteuer. Bei Mineralien sind es meist Farben, auf die sich ihre Namen beziehen. So ist es auch beim Zirkon; sein Name stammt von einem alten Wort für goldfarben. Die Bezeichnungen „Zirkonium“ sowie „Zirkonia“

wurden von „Zirkon“ abgeleitet, womit die Verwirrung mit den Namen vorprogrammiert war. Und bis heute müssen wir uns, insbesondere in der Medizintechnik, damit auseinandersetzen.

Das vorliegende Buch ist eine populär-wissenschaftliche Abhandlung über das Grundelement Zirkonium und über Materialien, die auf ihm basieren. Es richtet sich an alle, die über chemisches und technisches Grundwissen verfügen und sich für verschiedene Materialien interessieren, ohne dabei nach vertieften wissenschaftlichen Erkenntnissen suchen zu wollen.

Waldbronn
im Mai 2019

Božena Arnold

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Die ständige Verwechslung – eine Einführung | 1 |
| 2 | Zirkon – ein verbreitetes Mineral | 5 |
| 2.1 | Aus der Geschichte des Zirkons. | 5 |
| 2.2 | Eigenschaften von Zirkon | 6 |
| 2.3 | Vorkommen von Zirkon. | 8 |
| | Weiterführende Literatur. | 10 |
| 3 | Zirkon – ein echter Edelstein. | 11 |
| | Weiterführende Literatur. | 14 |
| 4 | Im Dienste der Geologie | 15 |
| 4.1 | Die atomare Uhr. | 15 |
| 4.2 | Geochronometrie mithilfe von Zirkon. | 16 |
| 4.3 | Die ältesten Zirkone. | 18 |
| | Weiterführende Literatur. | 20 |
| 5 | Zirkonsand – ein wichtiger Rohstoff. | 21 |
| 5.1 | Vorkommen von Zirkonsand | 21 |
| 5.2 | Anwendung von Zirkonsand | 23 |
| | Weiterführende Literatur. | 25 |
| 6 | Zirkonium – ein kaum bekanntes Metall | 27 |
| 6.1 | Entdeckung und Namensgebung | 27 |
| 6.2 | Gewinnung von Zirkonium | 30 |
| 6.3 | Eigenschaften von Zirkonium | 32 |
| | Weiterführende Literatur. | 36 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 7 | Hafnium – Zwilling Bruder von Zirkonium | 37 |
| | Weiterführende Literatur | 40 |
| 8 | Zirkonium-Werkstoffe und ihre Anwendung | 41 |
| 8.1 | Zirkonium als Hauptlegierungselement | 41 |
| 8.2 | Zirkonium in anderen Werkstoffen | 46 |
| | Weiterführende Literatur | 47 |
| 9 | Zirkonium und das Brennelement | 49 |
| 9.1 | Brennelement und Brennstab | 50 |
| 9.2 | Probleme bei Brennelementen | 51 |
| | Weiterführende Literatur | 52 |
| 10 | Zirkoniumoxid – ein vielseitiges Material | 55 |
| 11 | Natürliches Zirkoniumoxid | 57 |
| | Weiterführende Literatur | 59 |
| 12 | Künstliches Zirkoniumoxid | 61 |
| 12.1 | Pulverherstellung | 61 |
| 12.2 | Sintertechnische Fertigung von Bauteilen | 63 |
| | Weiterführende Literatur | 67 |
| 13 | Die Kristallwelt des Zirkoniumoxids | 69 |
| 13.1 | Gitterumwandlungen des Zirkoniumoxids | 69 |
| 13.2 | Stabilisierung bestimmter Kristallgitter | 70 |
| 13.3 | Umwandlungsverstärkung | 73 |
| | Weiterführende Literatur | 74 |
| 14 | Zirkoniumoxid-Werkstoffe | 77 |
| 14.1 | Einteilung der Zirkoniumoxid- Werkstoffe | 77 |
| 14.2 | Vollstabilisiertes Zirkoniumoxid CSZ (FSZ) | 79 |
| 14.3 | Teilstabilisiertes Zirkoniumoxid PSZ | 81 |
| 14.4 | Teilstabilisiertes polykristallines Zirkoniumoxid TZP | 82 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 14.5 | Eigenschaften von Zirkoniumoxid- Werkstoffen | 84 |
| 14.6 | Andere Zirkoniumoxid-Werkstoffe | 85 |
| | Weiterführende Literatur | 86 |
| 15 | Zirkoniumoxid versus Aluminiumoxid | 89 |
| 15.1 | Vergleich der Eigenschaften. | 90 |
| 15.2 | Mischkeramiken. | 92 |
| | Weiterführende Literatur. | 95 |
| 16 | Keramik wie Stahl | 97 |
| | Weiterführende Literatur. | 99 |
| 17 | Zirkoniumoxid in der Technik | 101 |
| 17.1 | Anwendung für Schneidwerkzeuge | 102 |
| 17.2 | Anwendung für verschleißfeste Bauteile | 103 |
| 17.3 | Anwendung in korrosiver Umgebung | 104 |
| 17.4 | Anwendung bei Wärmebeanspruchung | 105 |
| 17.5 | Anwendung für Werkzeuge mit optimierten Oberflächen. | 107 |
| 17.6 | Weitere Anwendungsbereiche | 109 |
| | Weiterführende Literatur. | 110 |
| 18 | Küchenhelfer aus Zirkoniumoxid | 111 |
| | Weiterführende Literatur. | 113 |
| 19 | Zirkoniumoxid und die Lambdasonde | 115 |
| 19.1 | Aufgabe der Lambdasonde | 115 |
| 19.2 | Sauerstoff-Ionen-Leitfähigkeit des Zirkoniumoxids | 117 |
| 19.3 | Funktionsprinzip der Lambdasonde. | 119 |
| | Weiterführende Literatur. | 120 |
| 20 | Zirkoniumoxid in der Zahnmedizin | 121 |
| 20.1 | Anforderungen an Zahnkronen und -brücken | 122 |
| 20.2 | Anfertigung von Zahnersatz aus Zirkoniumoxid-Keramik | 124 |
| 20.3 | Implantate | 126 |
| | Weiterführende Literatur. | 127 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 21 | Zirkonia – ein unechter Edelstein | 129 |
| | Weiterführende Literatur | 134 |
| 22 | Zwei Doppelgänger des Diamanten | 135 |
| | Weiterführende Literatur | 139 |
| | Stichwortverzeichnis | 141 |



Die ständige Verwechslung – eine Einführung

1

„Zirkon“, „Zirkonium“, „Zirkonia“ – die Ähnlichkeit der drei Namen lässt glauben, dass es sich um ein und dasselbe Material handelt. Das heißt also, dass die drei Begriffe als Synonyme verwendet werden. Aus materialtechnischer Sicht ist dies aber nicht zutreffend. Man kann es fast schon als ein Unglück bezeichnen, dass sich die drei Namen so ähnlich sind und infolgedessen diese Materialien oft verwechselt werden.

Im vorliegenden Buch werden die angesprochenen Materialien (Abb. 1.1) ganz deutlich unterschieden und gleichzeitig ihre Gemeinsamkeiten aufgezeigt.

Um bereits am Anfang Begriffsklarheit herzustellen, finden Sie in den folgenden Kapiteln Informationen über:

- das seit antiker Zeit bekannte Mineral namens „Zirkon“, das chemisch gesehen Zirkoniumsilikat (ZrSiO_4) ist,
- das kaum bekannte 40. chemische Element „Zirkonium“ (Zr),
- das Zirkoniumoxid (ZrO_2), das heute zu den wichtigsten keramischen Werkstoffen gehört und als gezüchteter Einkristall „Zirkonia“ heißt.

Zirkon gehört zu den oft vorkommenden und ältesten Bestandteilen der Erdkruste. Wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Diamanten wird er als Edelstein in der Schmuckindustrie verwendet



Abb. 1.1 Die drei Materialien. (a) Zirkon im Brillantschliff (mit freundlicher Genehmigung der Firma CARAT-Edelsteinhandel, Wien); (b) Metallisches Zirkonium (mit freundlicher Genehmigung der Firma Graz-Consulting, Prinzerdorf); (c) Keramikmesser aus Zirkoniumoxid (mit freundlicher Genehmigung der Firma Kyocera Feincermamics GmbH, Neuss); (d) Geschliffener Zirkonia

(Abb. 1.1). Zirkon ist aber auch der Ausgangsstoff zur Herstellung des reinen Metalls Zirkonium.

Das metallische Zirkonium wurde im Zirkon gefunden und gewinnt stetig an Bedeutung. Das Metall ist relativ weich, biegsam, silbrig glänzend und korrosionsbeständig (Abb. 1.1b). Seine wichtigste Anwendung findet es in der Kerntechnik.

Das vielfältige Eigenschaftsprofil von Zirkoniumoxid ermöglicht verschiedene Anwendungen, beispielsweise für Küchenmesser (Abb. 1.1c), aber auch in der Medizintechnik. Aus dem Zirkoniumoxid können synthetische Einkristalle hergestellt werden (Abb. 1.1d), die preisgünstige Diamantimitate sind.

Aufgrund der Namensgebungen ist das Durcheinander eigentlich so gut wie vorprogrammiert. Wenn wir die chemischen Zusammensetzungen betrachten, dann sehen wir jedoch deutlich, dass es sich hier um drei verschiedene Materialien handelt, die auch unterschiedliche Eigenschaften sowie Einsatzgebiete haben und unbedingt auseinandergelassen werden müssen.

Korrekterweise werden im Duden für den deutschsprachigen Raum die drei besagten Begriffe gegeneinander abgegrenzt und richtig definiert. Dabei wird auf den – sprachlich gesehen – gemeinsamen Wortteil der Begriffe hingewiesen: „Zirkon“. Dies ist möglicherweise der Grund, warum genau dieser Begriff in verschiedenen Kombinationen, oft jedoch fälschlicherweise, benutzt wird.

Bei der Suche nach Informationen im Internet wird unter „Zirkon“ alles Mögliche aus diesem Bereich genannt und angezeigt. Damit ist es manchmal recht schwierig festzustellen, welches der genannten Materialien in einem konkreten Fall gemeint ist. Bei einem Zahnarzt bekommen Sie eine Zirkonkrone. In einer Lambdasonde, die heute in jedem Auto zum Einsatz kommt, wird einer der Bestandteile häufig als Zirkon bezeichnet. Und in beiden Fällen wird dieser Name falsch verwendet, da es sich jeweils nicht um das Zirkoniumsilikat, sondern um das Zirkoniumoxid handelt. Selbst in einer Dissertation erscheint im Titel „Zirkon“, jedoch wird beim Lesen des Textes sofort ersichtlich, dass über Zirkoniumoxid berichtet wird. Im Abkürzungsverzeichnis der Arbeit wird aber Zirkon wiederum richtig als Zirkoniumsilikat aufgeführt. Im Schmuckhandel werden noch immer beliebig die Steine „Zirkon“ oder „Zirkonia“ genannt (trotz eines Preisunterschieds). Der Name Zirkon wird auch nicht selten für das metallische Zirkonium benutzt.

Aber ebenso kann man im Internet eine Warnung finden, die auf Englisch kurz und knapp lautet: „Not to be confused with zircon, zirconia or zirconium“ (https://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_zirconia).

Interessanterweise wurde Mitte des 18. Jahrhunderts zwischen „das Zirkon“ für das Oxid und „der Zirkon“ für den Edelstein „Hyazinth“ (der damalige Name für das Zirkoniumsilikat) unterschieden. Ein gewisses Durcheinander gab es möglicherweise schon damals.

Gemeinsam ist den drei genannten Materialien das Grundelement Zirkonium. So betrachtet, sollte dieses Buch eigentlich auch mit dem Zirkonium beginnen. Basierend auf der Geschichte der Materialien fangen wir jedoch mit dem Mineral Zirkon an, weil er uns zuerst bekannt war – als ein schöner Edelstein, jedoch ohne Kenntnis, um welchen Stoff es sich handelte. Danach wird das Zirkonium besprochen, ein Metall, das eben in diesem Mineral Zirkon entdeckt wurde. Erst dann widmen wir uns dem wichtigsten der drei behandelten Materialien, nämlich dem Zirkoniumoxid. Es kommt auch als Mineral in der Natur vor und trägt dann den Namen Baddeleyit. Erst im 20. Jahrhundert hat man begonnen, das Zirkoniumoxid synthetisch

herzustellen und als keramischen Werkstoff zu verwenden. Heute wird Zirkoniumoxid, neben dem Aluminiumoxid, als eine wichtige moderne Hochleistungskeramik geschätzt. Abschließend beschäftigen wir uns mit dem Zirkonia, einem aus dem Oxid gezüchteten Einkristall.

Wenn es mithilfe dieses Buchs gelingen sollte, ein Interesse für die verschiedenen zirkoniumbasierten Materialien zu wecken sowie ein Stück weit Fachwissen über sie zu vermitteln, dann hat das Buch seine erhoffte Aufgabe erfüllt.



Zirkon – ein verbreitetes Mineral

2

Zirkon ist ein natürliches Mineral, das bereits in der Antike als Edelstein bekannt war und für seine Schönheit geschätzt wurde – wie bei fast allen Edelsteinen wegen seiner Brillanz und Farbe. Der Zirkon gehört nicht nur zu den ältesten bekannten Mineralen, sondern ist auch eines der am häufigsten vorkommenden Minerale in der Erdkruste.

2.1 Aus der Geschichte des Zirkons

Der Name „Zirkon“ wird mit dem arabischen Wort „zargun“ in Verbindung gebracht, das goldfarben bedeutet. In früheren Zeiten wurde das Mineral oft „Hyazinth“ genannt, was eine blumige Anspielung auf seine Farbe war. Jedoch schon damals wurden vor allem farblose Zirkon-Kristalle geschätzt und als Diamantimitat verwendet.

Als „Zirkon“ wurde das Mineral erstmal 1783 von dem deutschen Geologen Abraham G. Werner bezeichnet. Desse Schüler Christian A. S. Hoffman nahm den Zirkon in das von ihm nach den Vorträgen von Werner verfasste „Handbuch der Mineralogie“ auf. Ein paar Jahre später analysierte der berühmte deutsche Chemiker Martin Heinrich Klaproth gelbgrüne und rötliche Zirkone aus Ceylon (heute Sri Lanka) und entdeckte darin „eine bisher unbekannte, selbständige, einfache