

Röntgenstrahlen aus Kristallen

Wolfgang Wagner, Jörg Pawelke, Wolfgang Enghardt

Erzeugung von Channeling-Strahlung am Beschleuniger ELBE

Ein perfekter Diamantkristall, den der fein gebündelte Elektronenstrahl des ELBE-Beschleunigers in definierter Richtung durchfliegt, wird zu einer Quelle intensiver Röntgenstrahlung. Die im Kristallgitter periodisch in Ebenen und Achsen angeordneten Atome wirken wie mikroskopisch kleine Kanäle (engl. channels), die die Strahlelektronen auf einer oszillierenden Bahn durch den Kristall führen und dabei zur Emission der danach benannten Channeling-Strahlung anregen.

Die medizinische Röntgendiagnostik ist wohl das bekannteste bildgebende Verfahren, das die Eigenschaft der Röntgenstrahlung, dickere Materieschichten durchdringen zu können, schon seit langem gezielt anwendet. In den dazu verwendeten Röntgenröhren werden Elektronen durch eine angelegte Hochspannung beschleunigt und auf eine Metallplatte (Anode) gelenkt. Dabei werden sie abgebremst und emittieren Röntgenstrahlung in Form von kontinuierlicher Bremsstrahlung und charakteristischer (materialspezifischer) Röntgenstrahlung, die nur definierte Energiewerte annehmen kann (Abb. 2).

Die an ELBE erzeugte Channeling-Strahlung hat nun einige wesentliche Vorteile gegenüber der Strahlung aus einer Röntgenröhre. Da ihre Entstehung von der Struktur des Querkristalls bestimmt wird, weist sie ebenfalls nur definierte Energiewerte auf (Abb. 3). Vergleichbar mit der charakteristischen Röntgenstrahlung ist sie also ebenfalls durch ein Linienspektrum gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu kann die Energie der Channeling-Strahlung jedoch durch Variation der Energie des Elektronenstrahls auf beliebige Werte eingestellt werden. Damit kann quasi die „Farbe“ der Röntgenstrahlung frei gewählt werden, d.h. mit Hilfe der Channeling-Strahlung erhält man eine stetig durchstimmbare, quasimonochromatische Röntgenstrahlungsquelle.

Wegen der im Vergleich zur Röntgenröhre (25 - 400 Kiloelektronenvolt) viel höheren Energie des Elektronenstrahls an ELBE (10 - 40 Megaelektronenvolt) ist die Channeling-Strahlung außerdem in einen extrem schmalen Abstrahlkegel gerichtet. Das führt zu einer Potenzierung der verfügbaren Intensität. Mit einem mittleren Elektronenstrom von nur 100 μA (Mikroampere) lassen sich

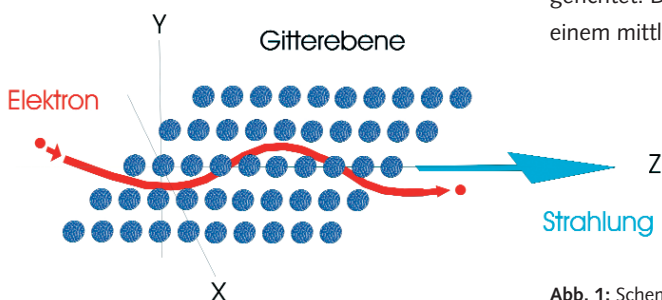


Abb. 1: Schema Channeling-Strahlung

somit mehr als 10^{10} Röntgenstrahlungsphotonen pro Sekunde erzeugen, deren Energie auf 10 % genau bestimmt ist. Die Qualität des von ELBE gelieferten Elektronenstrahls, und hier vor allem dessen extreme Parallelität, d.h. seine geringe Divergenz, mit der er auf den Kristall gerichtet werden kann, bieten die notwendigen Voraussetzungen für die Schaffung einer solchen nichtkonventionellen Röntgenstrahlungsquelle.

Der Vergleich von [Abb. 2](#) und [Abb. 3](#) zeigt, dass Channeling-Strahlung nicht selektiv von der sie begleitenden kontinuierlichen Bremsstrahlung erzeugt werden kann. Für praktische Anwendungen ist es aber in vielen Fällen gerade wichtig, dass die Röntgenstrahlung nur in einem engen Energiebereich auftritt, d.h. nahezu monochromatisch ist. Das bedeutet, dass aus dem in [Abb. 3](#) gezeigten Strahlungsspektrum der interessierende Bereich herausgefiltert und der restliche Teil unterdrückt werden muss. Dazu verwendet man einen Monochromator. In unserem Falle ist das ein großflächiger Graphitkristall, der in Abhängigkeit vom Einfallswinkel nur einen engen Energiebereich der Röntgenstrahlung ausblendet und aus dem Strahlungskegel zur Seite ablenkt (diffragiert). Sind Strahlungsquelle und Monochromator exakt aufeinander abgestimmt, gelingt es, gerade den intensiven Teil einer Channeling-Strahlungslinie auszufiltern und auf das zu untersuchende Objekt zu richten. Das Resultat ist ebenfalls in [Abb. 3](#) dargestellt. Die zur Verfügung stehende Röntgenstrahlung ist nun nahezu monochromatisch.

Eine erste praktische Anwendung einer Channeling-Strahlungsquelle ist in der Abteilung Strahlungsphysik bereits in Vorbereitung. Dabei geht es um die Untersuchung der Schädigung lebender Zellen durch quasimonochromatische Röntgenstrahlung, und hier besonders um die Abhängigkeit von der Röntgenenergie. Die so gewonnenen Daten zum strahlungsinduzierten Zelltod und zu genetischen Veränderungen sind z.B. wichtig für die Strahlentherapie von Tumoren bzw. für die Minimierung des Strahlenrisikos in der Röntgendiagnostik.

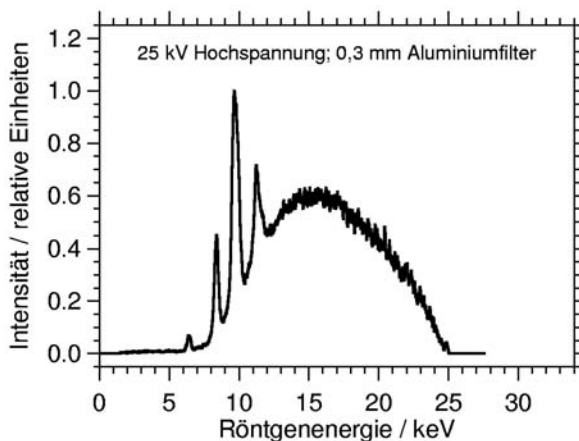


Abb. 2: Energiespektrum einer Röntgenröhre mit Wolframanode

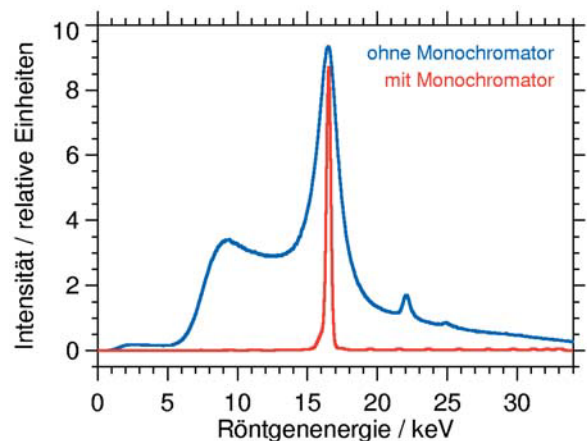


Abb. 3: Energiespektrum der an ELBE in einem 42 µm dicken Diamantkristall erzeugten Channelingstrahlung