

Die Gitterplatzbestimmung des Natrium im Diamant steht noch aus. Hier gibt es drei radioaktive Isotope, mit denen eine Gitterplatzbestimmung des Natriums möglich wäre. Das ^{20}Na als α -Emitter mit einer α -Energie von 4,4 MeV, das ^{21}Na als β^+ -Emitter mit einer Energie von 2.5 MeV und das ^{24}Na als β^- -Emitter mit einer maximalen Energie von 1.4 MeV. Während mit ^{20}Na und ^{21}Na wegen der kurzen Halbwertszeit während der Implantation gemessen werden muß, kann man beim ^{24}Na auch nach der Implantation messen.

Die möglichen Donatoren auf substitutionellen Plätzen sind Phosphor und Arsen. Hier sind bereits Untersuchungen von ^{75}As in synthetischem Diamant mit Hilfe der RBS-Channelingmethode [GORB91] sowie mit einer Emissionchannelingmessung der Konversionselektronen des ^{73}As in natürlichem Diamant durchgeführt worden [BHAR95].

Sie zeigen übereinstimmend einen substitutionellen Anteil des Arsen in Diamant von 52% bzw. $54 \pm 5\%$. Um Graphitisierung des Diamanten zu vermeiden, wurde beim Ionenchanneling bei hohen Temperaturen implantiert, während beim Emissionchanneling bei Raumtemperatur und dafür mit einer kleineren Implantationsdosis gearbeitet wurde.

Eine aussagekräftige Gitterplatzbestimmung des Phosphors in Diamant stand noch aus, und wurde in dieser Arbeit mit Emissionchanneling von β^- -Elektronen der Isotope ^{32}P und ^{33}P vorgenommen.

Bisher wurde bereits mit Hilfe der RBS-Channelingmethode versucht, den Gitterplatz von Phosphor zu bestimmen [ZHANG95]. Hier wurde stabiler Phosphor mit einer Dosis von $1.5 \cdot 10^{15} \text{ P/cm}^2$ bei 800°C mit 28 keV implantiert. Ohne den Diamanten zu stark zu schädigen, war es nur möglich, zwei Punkte, einen Randomwert und den bei 0° zur Kristallachse statt eines sonst üblichen Spektrums aufzunehmen. Außerdem ist die implantierte Dosis nur knapp über der Nachweisgrenze. Aus diesen Gründen konnte nur eine grobe Abschätzung des substitutionellen Anteils des Phosphors zwischen 45% und 65% gemacht werden. Im Gegensatz dazu geht aus einer theoretischen Arbeit von Anderson hervor, daß kein substitutioneller Einbau des Phosphors in das Diamantgitter zu erwarten ist [ANDE93].

3. Ionenimplantation

3.1 Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen zur Ionenimplantation gehen auf Bohr [BOHR13] [BOHR15] und Rutherford [RUTH11] zurück. Beim Beschuß von Festkörpern mit Ionen gibt es zwei Mechanismen, die diese abbremsen oder streuen. Zum einen die elastischen Stöße mit den Kernen, zum zweiten die Wechselwirkung mit den Elektronen. Welcher der beiden Effekte überwiegt, hängt von der Energie und der Masse der Projektile sowie von der Masse der Targetatome ab.

- ◆ Bei Ionen mit hoher kinetischer Energie überwiegt die elektrische Wechselwirkung, auch elektronic stopping genannt. Sie bestimmt die mittlere Tiefe der Projektile.
- ◆ Bei kleineren Geschwindigkeiten überwiegt die Rutherford Streuung an dem Coulombpotential der Kerne. Diese Streuung bewirkt den Gitterschaden, denn ist die an das Kristallatom übertragene Energie größer als seine Verlagerungsenergie, die für die Kohlenstoffatome in Diamant zwischen 35 eV [MASS76] und 80 eV [CLAR61] angegeben wird, so verläßt das Kristallatom seinen Gitterplatz und kann daraufhin unter Umständen weitere Gitteratome verlagern, ebenso wie das eingeschossene Ion bei seiner weiteren Bewegung erneut Verlagerungsstöße ausführen kann, bis es zur Ruhe kommt und eine Defektkaskade entlang seiner Bahn hinterläßt. Das Implantationsprofil hängt also auch etwas von der Verlagerungsenergie der Kristallatome ab.

Um das Implantationsprofil von Ionen in einem Kristall zu berechnen, verwendet man das Monte-Carlo-Simulationsprogramm TRIM 91 [ZIEGR85]. Als Beispiel ist in Bild 3.1 das Implantationsprofil von ^{33}P in Diamant für eine Implantationsenergie von 30 keV, zusammen mit der guten Anpassung durch eine Gaußverteilung, die in die Manybeamsimulation eingeht, gezeigt.

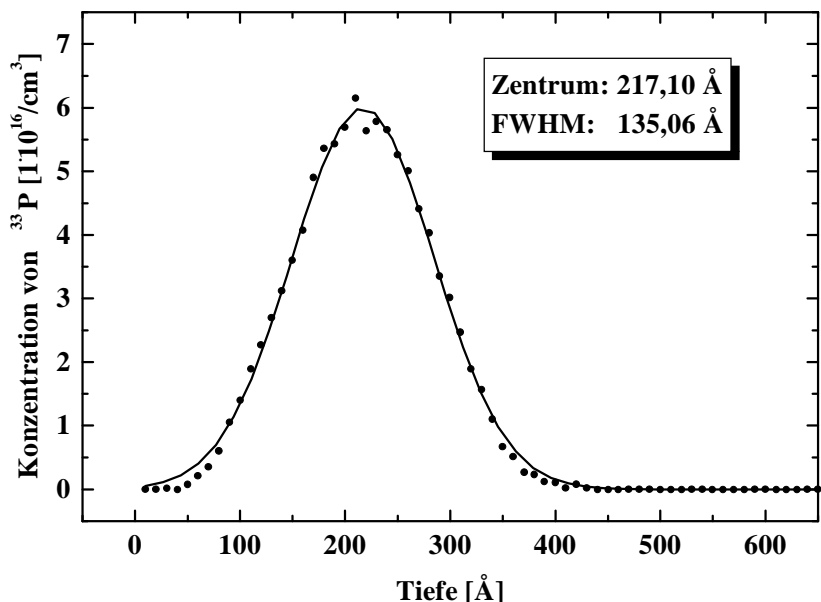


Bild 3.1.: Implantationsprofil von ^{33}P in Diamant, Implantationsenergie 30 keV, berechnet mit TRIM und durch eine Gaußverteilung angepasst.

3.2 Grenzen der Dotierbarkeit von Diamant durch die Ionenimplantation

Die besprochenen Defektkaskaden sind in Bild 3.2 schematisch gezeigt. Bei höheren Ionendosen beginnen die Defektkaskaden zu überlappen, wir erhalten amorphisierte Gebiete, das sind Gebiete, in denen die Fernordnung der Kristallstruktur zerstört ist. In Bild 3.3 ist der mit TRIM berechnete Strahlenschaden durch die Ionenimplantation als Funktion der Tiefe gezeigt. Man erkennt, daß die Strahlenschäden zwischen den Sonden und der Oberfläche liegen. Diese müssen ausgeheilt werden, da sie den Gitterführungseffekt über das Dechanneling (siehe Kap. 5.1) stark beeinträchtigen.

In Kristallen, bei denen die gewünschte Kristallform die energetisch günstigste ist, lassen sich selbst große Strahlenschäden durch Ausheilen wieder beseitigen (z.B. beim Si). Beim Diamant tritt dieser Fall der Amorphisierung bei ca. 10^{14} Ionen/cm² auf [BRAU80]. Diamant läßt sich danach nach einer Amorphisierung nicht mehr ausheilen, sonder geht in die stabile Phase des Kohlenstoffes, den Graphit über.

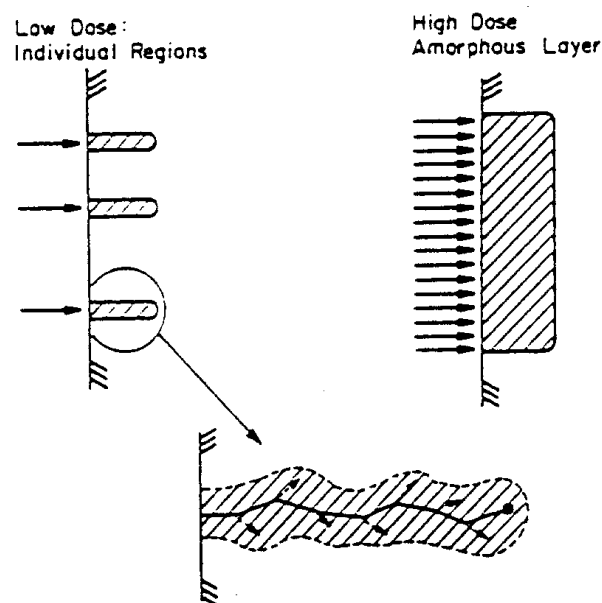


Bild 3.2: Eine schematische Darstellung des Strahlenschadens, erzeugt durch Ionenimplantation [DRES92]. Bei niedrigen Dosen sind die stark geschädigten Gebiete räumlich voneinander getrennt. Bei hohen Dosen können die Defektkaskaden überlappen.

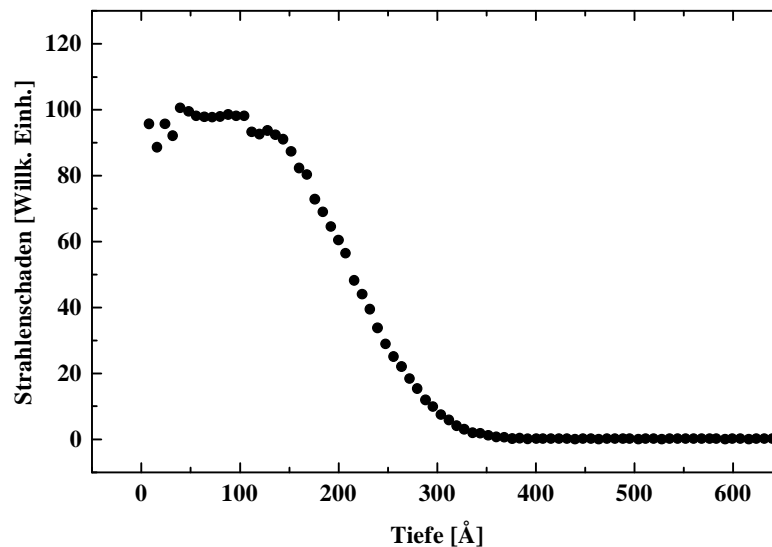


Bild 3.3: Erzeugter Strahlenschaden durch Ionenimplantation in Abhängigkeit der Tiefe, berechnet mit TRIM für implantierten ^{33}P in Diamant mit einer Implantationsenergie von 30 keV.

4. Emission-Channeling

4.1 Grundlagen

Schießt man mit Heliumkernen auf einen Kristall, so kann man über die Energieverteilung der rückgestreuten Kerne die Masse der sich im Kristall befindenden Atome ermitteln (Rutherford Back Scattering). Richtet man den Kristall nun so aus, daß man genau entlang einer Kristallachse hineinschießt, so können die Heliumkerne über viele Kleinwinkelstreuungen entlang der Achse in den Kristall hineingeführt werden. Trägt man jetzt die Anzahl der rückgestreuten Kerne in Abhängigkeit des Winkels des Ionenstrahls mit der Kristallachse auf, so erhalten wir ein Minimum bei 0° . Ist der Kanal, in dem die Ionen geführt werden sollen, durch ein Fremdatom oder einen Gitterfehler versperrt, so tritt eine Großwinkelstreuung auf, und die Rückstreurrate, gemessen in einem Energiefenster nahe der entsprechenden Rückstreuante, wird bei 0° größer. Mit der RBS-Channeling-Methode kann also im Prinzip die Güte eines Kristallgitters [CHU78] und der Gitterplatz des Fremdatomes [MAYE70] bestimmt werden. Für die Gitterplatzbestimmung von Fremdatomen sind allerdings Implantationsdosen $> 10^{14}\text{cm}^{-2}$ nötig, da der Streuquerschnitt klein ist. Mit wesentlich kleineren Dosen kann man bereits messen, wenn man radioaktive Atome als Sonden implantiert und die Gitterführungseffekte der Zerfallsprodukte untersucht, denn hier