

# ELEKTRONSKA DIFRAKCIJA

Braggova refleksija, Debay-Scherrer metoda, Struktura grafita, mrežne ravnine, valovi materije, de Broglieva jednadžba.

## UVOD

Difrakcija elektrona je često korištena metoda za određivanje strukture tvari u fizici čvrstog stanja, a koristi se u raznim sofisticiranijim oblicima. Pritom dolazi do izražaja valna priroda elektrona te se stoga snop elektrona difraktira na uzorku poput elektromagnetskih valova. Iz dobivene difrakcijske slike na fluorescentnom zaslonu i poznavanja brzine elektrona (tj. napona kojim su ubrzani), može se zaključiti o udaljenostima među atomima uzorka.

## TEORIJSKI DIO

U skladu s valno-čestičnim svojstvom, elektronima je pridružena valna duljina  $\lambda$ ,

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (1)$$

gdje je  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  Js Planckova konstanta, a  $p$  impuls elektrona. Ako se uzme da je brzina elektrona nakon termičkog izlaska iz katode jednaka nula (u stvarnosti je ta brzina puno manja od brzine koje dobivaju naponom pa je ta pretpostavka dobra), kinetička energija koju elektroni dobiju zbog ubrzavajućeg djelovanja električnog polja uspostavljenog anodnim naponom  $U$  jednaka je:

$$E_{kin} = \frac{p^2}{2m} = eU. \quad (2)$$

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C je naboj elektrona, a  $m = 9.11 \cdot 10^{-31}$  kg masa elektrona. Riječ je o nerelativističkom izrazu, dok bi relativistički izraz za impuls elektrona glasio:

$$p = mcx\sqrt{1 - \frac{1}{x^2}}, \quad x = \frac{eU}{mc^2} + 1, \quad (3)$$

pri čemu je  $c = 3 \cdot 10^8$  ms<sup>-1</sup>. Za maksimalni korišteni napon (7 kV) izraz (2) daje relativnu pogrešku od 0.3 % u odnosu na izraz (3), a za manje napone ta pogreška je još manja. Kako su ostale pogreške u eksperimentu (nestalnost anodnog napona, difuznost prstenova) veće od navedene vrijednosti za računanje valne duljine elektrona opravdano je koristiti izraz (2), što uz (1) daje:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}. \quad (4)$$

Kada elektroni navedene valne duljine padnu na kristal dolazi do difrakcije u skladu s Bragg-ovim zakonom:

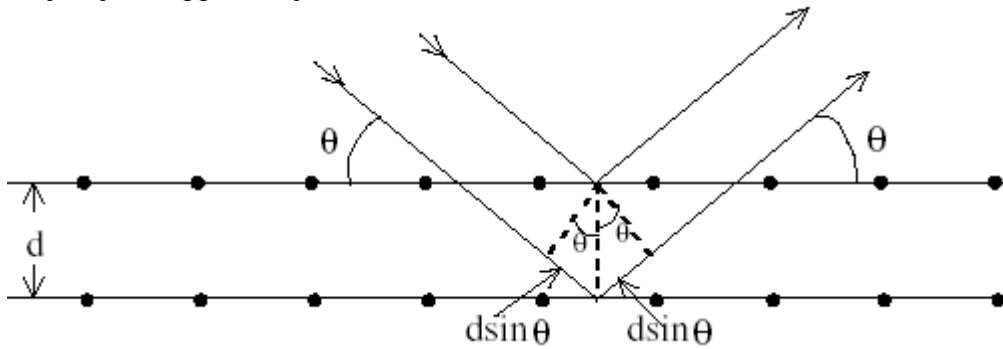
$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (5)$$

tj. kada razlika u putovima između dviju zraka valova koje se difraktiraju pod kutom  $\theta$  u odnosu na dvije paralelne ravnine atoma udaljene za  $d$  (slika 1) iznosi višekratnik valne duljine  $\lambda$ , dolazi do konstruktivne interferencije. Sa slici 6 se vidi kako je  $\alpha = 2\theta$ , a  $\sin(2\alpha) = r/R$ . Za male kutove  $\theta$  vrijedi  $\cos \theta \approx 1$ ,  $\cos \alpha \approx 1$  te vrijedi  $\sin(2\alpha) \approx 4 \sin \alpha$ ; pa izraz (5) prelazi u:

$$r = \frac{2R}{d} n\lambda. \quad (6)$$

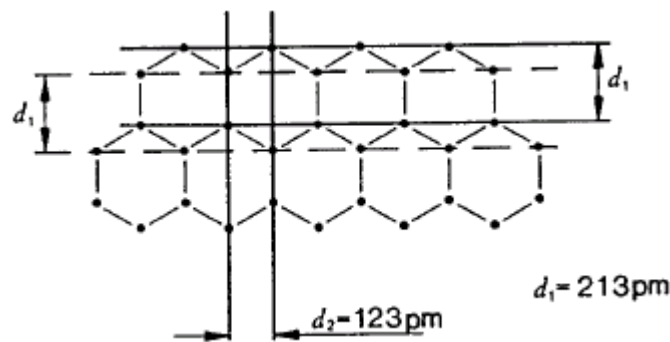
Iz izmjerenih vrijednosti  $r$  te izračunatih vrijednosti  $\lambda$ , može se odrediti  $d$ .

U polikristaliničnom uzorku grafita slabe sile veze između pojedinih slojeva su razbijene pa je njihova orijentacija nasumična. Nasumična orijentacija ravnina osigurava da su pokriveni svi kutovi  $\theta$  koji zadovoljavaju Bragg-ov uvjet (5).



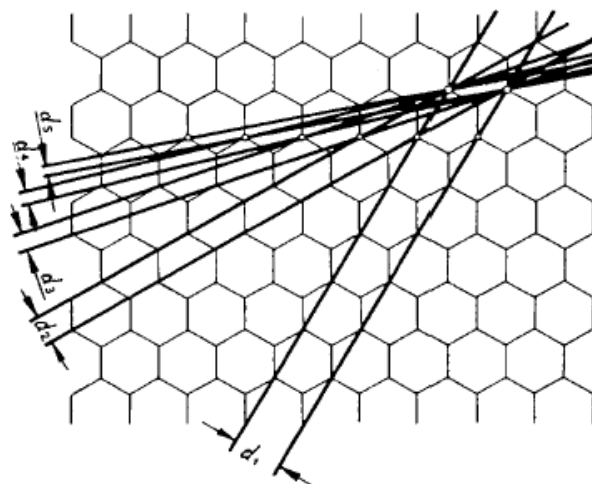
**Slika 1:** Bragg-ova difrakcija na kristalu.

Difrakcijska slika se sastoji od centralne svijetle točke koja potječe od nedifraktiranih elektrona i nekoliko koncentrična prstenova oko centralne točke.



**Slika 2:** Ravnine difrakcije za prva dva prstena.

Dobro su izražena prva dva prstena koji potječu od difrakcije na ravninama udaljenim za  $d_1$  i  $d_2$  (slika 2), dok se treći i četvrti svijetli difrakcijski prsteni vide pri većim anodnim naponima i potječu od difrakcije na ravninama udaljenim za  $d_3$  i  $d_4$  (slika 3).



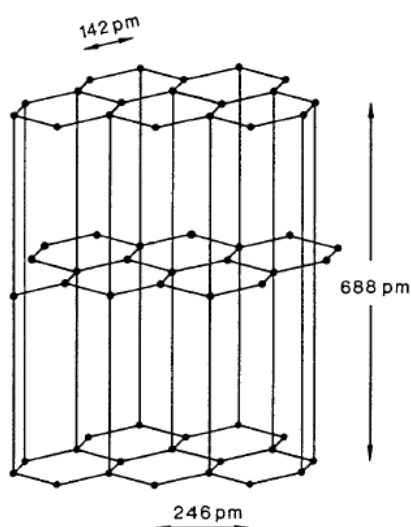
**Slika 3:** Međuravninski razmaci u grafitu.

## EKSPERIMENTALNI POSTAV

Na slici 4 je prikazan eksperimentalni postav za elektronsku difrakciju na polikristaliničnom uzorku grafita (slika 5).



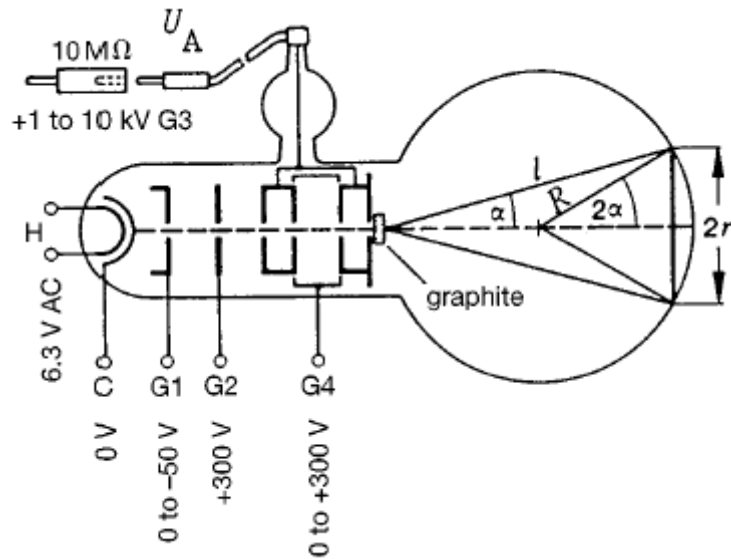
*Slika 4:* Eksperimentalni postav za elektronsku difrakciju.



*Slika 5:* Kristalna rešetka grafita.

Elektronska difrakcijska cijev se spoji na naponski izvor kako je prikazano na slici 6. Visoki napon se spaja na anodu cijevi prijeko zaštitnog 10 M $\Omega$  otpornika. Ostale priključnice rešetki cijevi spajaju se na priključnice izvora napona na napone kako je prikazano na slici 6. Naponi na

rešetkama  $G_1$  i  $G_4$  se podese na vrijednosti koje daju oštre i dobro definirane svjetleće difrakcijske prstenove. Anodni napon se mjeri spajanjem vrha visoko naponske probe na anodni priključak i



**Slika 6:** Shematski prikaz uređaja za elektronsku difrakciju.

digitalni voltmetar. Visoko naponska proba sadrži naponski djelitelj koji smanjuje napon koji se mjeri u omjeru 100:1 uz pogrešku 5%.

Elektroni izlijeću iz grijane katode i ubrzavaju se u Wehneltovom cilindru (slika 2) anodnim naponom čija se vrijednost može mijenjati od 0 do 7 kV.

Tako ubrzani elektroni nalijeću na polikristalinični uzorak grafita gdje dolazi do difrakcije. Difraktirani elektroni padaju na fluorescentni sloj nanesen s unutarnje strane staklene kugle i stvaraju difrakcijsku sliku u vidu koncentričnih prstenova različite širine. Zaslom zasvijetli na mjestu gdje elektron udari u njega. Polumjer staklene kugle je 65 mm, a cijeli uređaj je evakuiran kako ne bi dolazilo do interakcije elektrona s atomima zraka. Anodni napon ne očitava se s njegovog izvora (kao na slici 4) nego se mjeri digitalnim voltmetrom. Određivanje promjera difrakcijskog prstena se vrši na način da se pomičnom mjerkom izmjeri unutarnji i vanjski promjer difrakcijskog prstena a nakon toga se izračuna promjer prstena kao srednja vrijednost izmjerenih difrakcijskih prstena.

Zadaci:

1. Izmjeriti radijuse dvaju najmanjih prstenova za različite anodne napone!
2. Izračunati valne duljine elektrona koje odgovaraju anodnim naponima na kojima su mjereni radijusi prstena!
3. Odredite međuravninske razmake grafita pomoću izmjerenih podataka!