

# Transzmissziós elektronmikroszkópia

KÜRTI ZOLTÁN

B csoport

Mérés dátuma: 2021. november 25

Beadás dátuma: 2021. december 5.

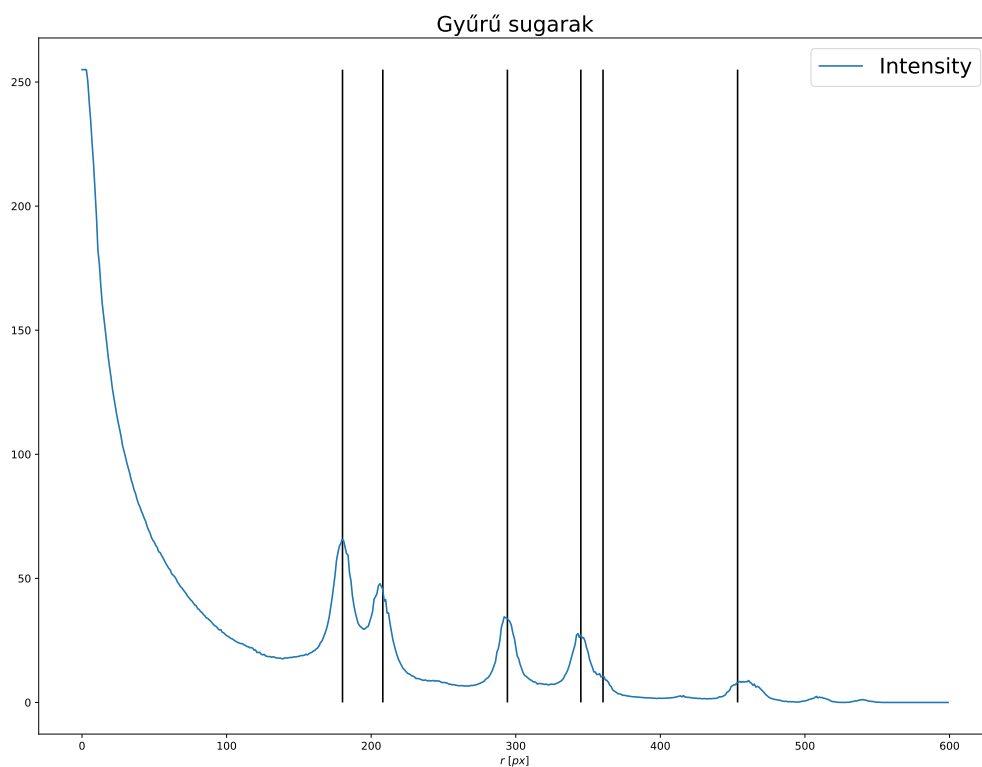
# 1. Bevezetés

A mérés kiértékelésének nagy részét a BSc. TEM laborhoz írt programommal végeztem. Annyi a különbség, hogy a program mostani verziója használja a nagy energiás közelítést. Ez nem változtat az eredményen, viszont mivel most nem mi készítettük a képeket, a használt elektronok energiáját csak feltételezni tudnám előző mérések alapján. A kódot elküldöm pdf illetve futtatható formában is.

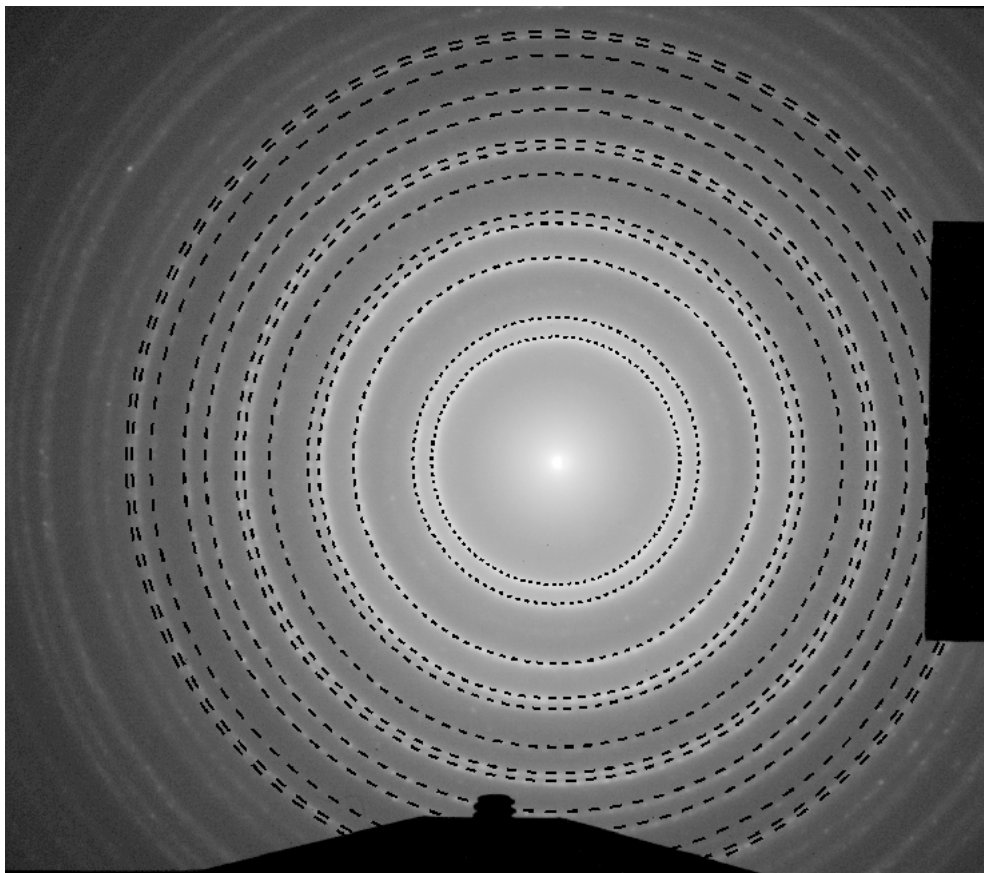
A mikroszkóp állandó kalibrálásához nikkel porról készült diffrakciós ábrát használtunk. A cél egy szilíciumból és gallium-nitridből álló rendszer vizsgálata, a szomszédos kristályok orientációjának meghatározása.

## 2. Kalibrálás

A programmal először a nikkel minta középső pontját határoztam meg. Ez után a középponttól mért távolság függvényében kiszámítottam a körvonalak mentén mért intenzitást. Ebből az intenzitásból megpróbáltam leválasztani a háttérrel egy Cauchy-függvény illesztésével. Ez a lépés nem olyan fontos, e nélkül is hasonló értéket kapok a mikroszkóp állandóra. Ezek után a mikroszkóp állandót úgy optimalizálom, hogy a nikkel  $d_{hkl}$  távolságai alapján várt gyűrűk helyén az intenzitások szorzata maximális legyen. Az 1. ábra mutatja az illesztés eredményét, valamint a 2. ábra mutatja az illesztett gyűrűket a nikkel eredeti diffrakciós ábráján.  $\lambda L = 367\text{pixel}\text{\AA}$  a mért mikroszkóp állandó.

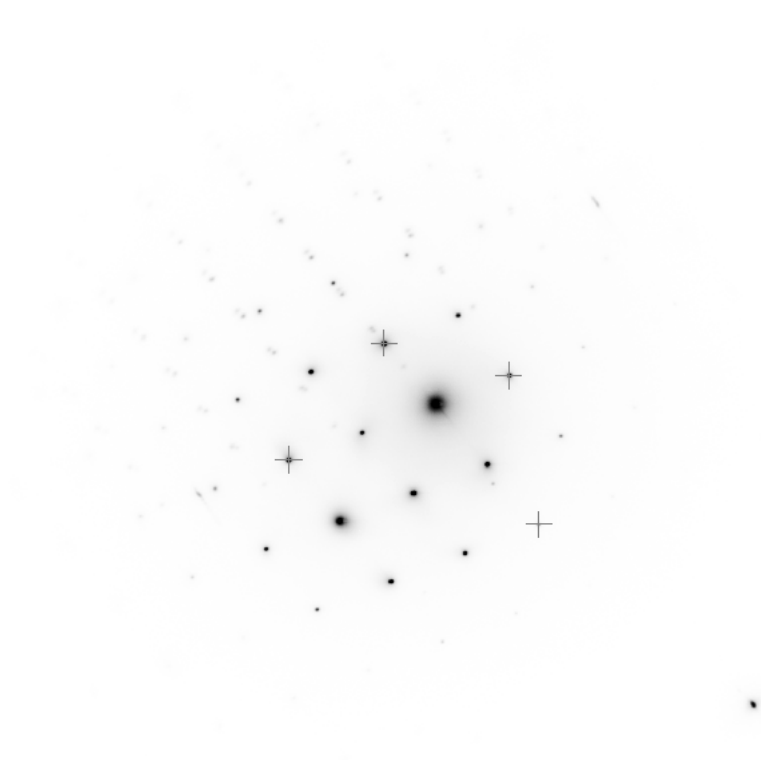


1. ábra. A középponttól mért távolság függvényében az átlagos intenzitás a körgyűrű mentén, illetve az illesztett mikroszkóp állandó által meghatározott gyűrű sugarak.



2. ábra. A kalibrációs ábra az első néhány gyűrűvel az illesztett mikroszkóp állandónak megfelelően.

### 3. Szilícim



3. ábra. A szilícium diffrakciós képe és a kiválasztott csúcsok. Fölről lefelé a diffrakciós csúcsok O, A, B és C.

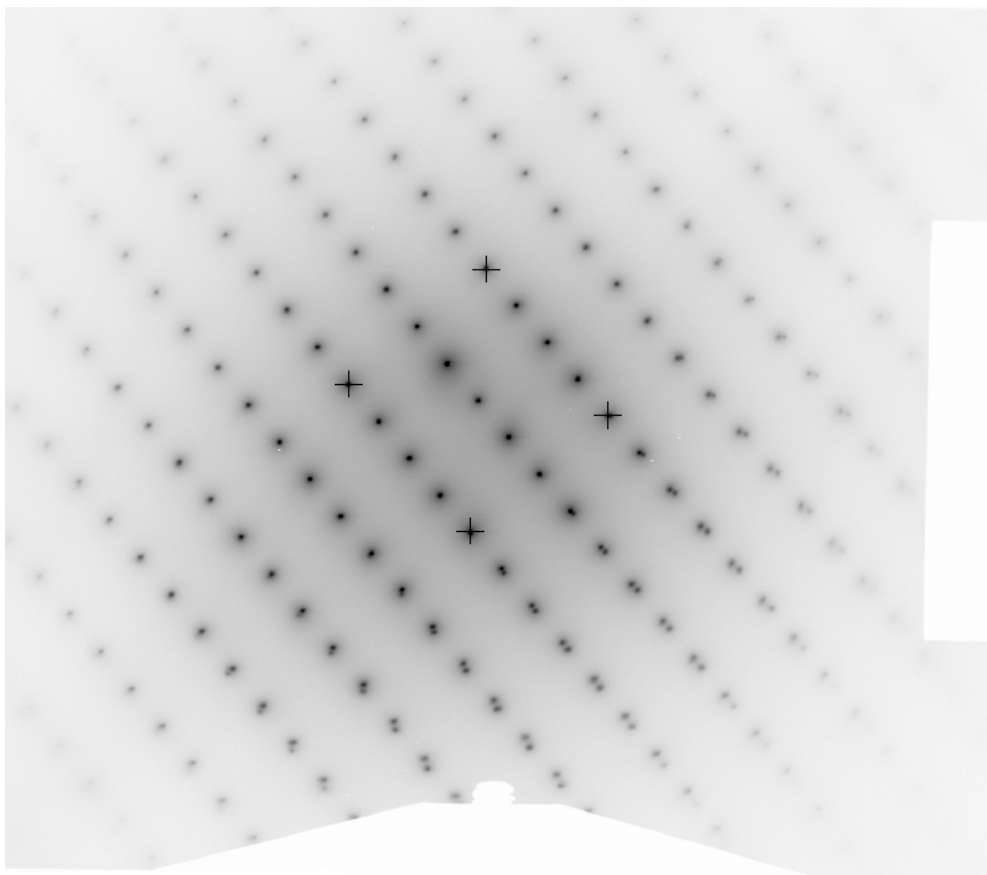
Csúcs	$R$ [pixel]	$d$ [Å]	$(hkl)$
$OA$	187	1.96	(220)
$OB$	219	1.68	$(1\bar{3}1)$
$OC$	346	1.06	(511)

1. táblázat. A szilícium diffrakciós ábra indexelése.

a 3. ábra szerinte a csúcsok közötti összefüggés  $2OA + OB = OC$ . Ellenőrzésképpen ezt kiszámítottam a csúcsok pozícióinak segítségével, és az összeg hibája 1.4pixel volt. A  $(hkl)$  indexeket úgy választottam meg, hogy a vektoriális összefüggés teljesüljön. A mért  $d$  értékek körülbelül 2%-kal nagyobbak voltak, mint a táblázatban talált értékek, ezért a mikroszkóp állandót korrigáltam ezzel az eltéréssel. A csúcsok alapján kapott mikroszkóp állandóban jobban bízom, mivel a középpont meghatározása a gyűrűk esetében nem volt teljesen pontos, a szilícium diffrakciós ábrája tisztábbnak látszik. A továbbiakban  $\lambda L = 359\text{pixel}\text{\AA}$  értéket használtam, ezzel a szilícium esetében a számított és a táblázat beli  $d$  értékek közötti eltérés 0.5%, 0.4% illetve 0.1% volt.

A zónatengelyt  $OB \times OA$  adja, az ábrából kifelé mutató irányban.  $(\bar{1}\bar{3}1) \times (220) = [\bar{2}28] \propto [\bar{1}14]$  a szilícium zónatengelye.

## 4. Gallium-nitrid



4. ábra. A gallium-nitrid diffrakciós képe és a kiválasztott csúcsok. Fölről lefelé a diffrakciós csúcsok O, A, B és C.

Csúcs	$R$ [pixel]	$d$ [Å]	$(hkl)$
$OA$	260	1.38	(200)
$OB$	277	1.30	(004)
$OC$	381	0.94	(204)

2. táblázat. A gallium-nitrid diffrakciós ábra indexelése.

Az itt bejelölt csúcsokra vonatkozó egyenlet a  $OA + OB = OC$ . Ez teljesül 1.7pixel hibával. A Miller indexeket ennek az egyenletnek megfelelően választottam meg. A gallium-nitrid esetében a mért és a táblázatban felsorolt  $d$  értékek közötti eltérés 0.4% 0.1% és 0.4%. Itt nem volt szükség rá, de hexagonális kristály esetében a (200)-val ekvivalens reciprokrács vektorok a négy indexes formalizmus segítségével kaphatóak meg, és ezek a  $(\bar{2}020)$ ,  $(\bar{2}200)$ ,  $(2\bar{2}00)$ ,  $(02\bar{2}0)$  valamint a  $(0\bar{2}20)$  vektorok. Hasonlóak a (204) vektorral ekvivalens vektorok, a (004) vektorral pedig csak a  $(00\bar{4})$  ekvivalens.

A gallium-nitrid zónatengelyét előjel helyesen az  $OA \times OB$  adja meg.  $(200) \times (004) = [0\bar{8}0] \propto [0\bar{1}0]$  az elektronforrás felé mutató rácsvektor. A  $[0\bar{1}00]$  négyes vektor nem teljesíti a  $T = -(U + V)$  feltételt, viszont a zónatengelynek megfelelő irányát jelöli. Az  $[1110]$  vektor a nullvektornak felel meg, tehát ennek a többszörösét hozzáadva a  $[0\bar{1}00]$  vektor nem változik.  $1/3$  szorzó választásával a négyes indexekre vonatkozó feltétel teljesül. Az eredményt megszoroztam 3-mal, hogy egész számokat kapjak. A végeredmény, hogy a zónatengely négy indexes jelölésben  $[1\bar{2}10]$ .

## 5. Közös kiértékelés

A vegyes diffrakciós ábra alapján a párhuzamos síkseregek a két anyagban az (511) síksereg a szilícium esetében, a GaN esetében pedig a (001) síksereg. Ezekre a síkokra merőleges irányok párhuzamosak lesznek a két anyagban, azaz a szilícium  $[511]$  és a gallium-nitrid  $[001]$  irányai párhuzamosak. A szilícium köbös szerkezetű, a gallium-nitrid esetében pedig a kérdéses síkokat a  $c^*$  reciprok vektor határozza meg, mellyel a  $c$  rácsvektor párhuzamos, így mind a két esetben a síkokra merőleges irányok meghatározása könnyű volt.

A zónatengely és a közös síkokra merőleges irány valóban merőleges a szilícium és gallium-nitrid esetében is. Ennek oka, hogy definíció szerint a zónatengelyhez tartozó síkok párhuzamosak a zónatengellyel. Ezek közül a síkseregek közül az egyik okozza mind



a két mintában a közös egyenesbe eső diffrakciós pontokat. A közös irány ezekre a síkokra merőleges, így a zónatengelyre is.

A reciprok vektorok amik merőlegesek a két közös irányra vektoriális szorzással megkaphatóak. A szilícium esetében  $[511] \times [\bar{1}14] = (3, \bar{2}1, 4)$ , a gallium-nitrid esetében  $[001] \times [0\bar{1}0] = (100)$  a reciprok vektor indexei.