

Végezetül bemutatunk egyetlen kutatási területet, amellyel a jelen cikk szerzője foglalkozott: üvegkapillárison áthaladó lézersugár interferencia jelensége. 1990-ben a kolozsvári TE-en középiskolásoknak mutattunk be lézeres kísérleteket. A lézernyaláb kiszélesítéséhez (szétterítéséhez) a legegyszerűbb üvegpálcát használni. Akkor éppen egy üvegkapilláris került a kezünkbe, és megfigyeltük, hogy a falon szétterülő lézerfény nem folytonos szerkezetű. A többszörös rétegezethez közlül kettőnek a magyarázata a kapilláris külső-, illetve a belső átmérőjén lejátszódó diffrakcióval magyarázható. A legnagyobb szaggatottságú jelenség okát a kapilláriscső különböző részein áthaladó, de a képernyőnek ugyanazon pontjába érkező fénysugarak interferenciájában kerestük. Számításokkal rendkívül nehéz lett volna a feltételezésünket igazolni, ezért a jelenséget számítógéppel szimuláltuk. A számítógépprogramunkkal kapott eredmények nagyságrendileg igazolták hipotézisünket (5. ábra).

Külön írást érdemelne bármilyen aktuális kutatási téma bemutatása, de ez nemcsak terjedelemben, de számában is lehetetlen elgondolás lenne, hiszen a lézerkutatások robbanásszerű fejlődést mutatnak. Ma már biztosan kijelenthető, hogy a lézerek ugyanolyan jelentőséggel bírnak a tudományos megvalósítások sorában, mint a részecskefizikai, az elektronikai, vagy az informatikai megvalósítások.

#### Könyvészet:

1. Myring, L. — Kimmitt, M.: *Lézer. Első könyvem a lézerekről*. Műszaki könyvkiadó, Novotrade RT. Budapest. 1988.
2. *x x x Korszerű technológiák. Lézertechnikai célszám*. 1991/2. Budapest.
3. Maróti, P. — Laczkó, G.: *Bevezetés a biofizikába*. JATE Szeged. TTK. 1993.
4. *x x x Lézerek tudományos és gyakorlati alkalmazásai*. Téli iskola. Esztergom. 1993. febr. 15—18.
5. Simon P. — Bor Zs. — Rác B. — Hebling J.: *Lézerkutatások Szegeden IV. Az excimer-, nitrogén, és festéklézerek alkalmazásai*. Fizikai Szemle. 1987. 412.
6. Hecht, J.: *The Laser Guidebook*. McGraw-Hill Book Company, NY... 1986.
7. Kovács Zoltán: *Lézersugaras interferencia üvegkapillárisokkal és a jelenségek számítógépes modellezése*. Fizikai Szemle 1994. (megjelenés alatt).

**Kovács Zoltán**

## Régi és új anyagok

### II. Vezetők, félvezetők, szupravezetők

Az elektromos jelenségek megismerésével szerzett tapasztalatok a XIX. század végére a társadalmi-gazdasági fejlődés mozgatójává váltak. Villamos gépek, távközlési berendezések megszerkesztésére vezetőkre (vas, réz) és szigetelőkre volt szükség. Az elektromos vezetést az anyagok elmozdulni képes töltéshordozói biztosítják. Minden anyagban nagyon nagy számú elektron van (legyen az vezető, vagy szigetelő — durva közelítésben  $1 \text{ cm}^3$  anyagban kb.  $10^{24}$  elektron lehet). Ez a tény még nem jelenti azoknak jó elektromos vezetőképeségét. A külső elektromos tér hatására elmozduló elektronok koncentrációját az anyag belső szerkezete, ezt pedig az elektronok energiaszinti eloszlása szabja meg. Egymástól távollevő atomok közt nincs kölcsönhatás, az elektronjaik a maghoz adott energiával kapcsolódnak, attól nem tudnak könnyen elmozdulni. Szilárd, kristályos állapotban az atomok között különböző kölcsönhatások (elektrosztatikus vonzás és taszítás) következtében az atomi elektronívók sávokká alakulnak, amelyeket a „tiltott”-sávok választanak el egymástól. A kristályban nem lehet olyan elektron, amely energiája a tiltott sávba esne. Energiafelvételkor egyik megengedett sávból a másikba csak a tiltott sáv „átugrásával” juthat elektron.

A szilárd testek képződésekor általában a kapcsolatok kialakításában az atomok a vegyértékelektronjaikkal vesznek részt, a kötésben részt nem vevő elektronjaik atomi pályákon maradnak. Az atomok és elektronok kölcsönhatásának erősödésével a sávok szélesednek, a kölcsönhatás csökkenésével a sávok keskenyednek. Az atomok

természete határozza meg, hogy a létrejött sávok mennyire népesek elektronokkal: betöltöttek, üresek, vagy félig betöltöttek-e. A teljesen betöltött sávokban az elektronok egyik atomról a másikra akadály nélkül átjuthatnak. A sávban az elektronok haotikus mozgása olyan elemi áramokat gerjeszt, amelyek megsemmisítik egymást. Külső elektromos tér hatására sem folyik bennük áram. Az ilyen kristály nem vezet, szigetelő.

Olyan kristályokban, amelyben félig betöltött sávok vannak az elektronok külső tér hatására képesek energiájukat megváltoztatni, mivel a sávban még vannak nagyobb energiájú állapotok. Ezek a jó vezető anyagok.

A félvezető anyagokban a legfelső betöltött sáv és a vele szomszédos legközelebbi üres sáv közti tiltott sáv szélessége kicsi, s az elektronok viszonylag kis energia felvételével képesek a magasabb vezetési sávba jutni. A félvezetők 0 K hőmérsékleten csak betöltött sávokkal rendelkeznek. Ennél nagyobb hőmérsékleten az atomok hőmozgása következtében az azokat összetartó kötések egy része felszakad, elektron jut a vegyértéksávból a vezetési sávba, miközben az előbbiben a távozó elektron eredményeként egy „lyuk” keletkezik. Külső tér hatására a szomszéd atom valamely vegyértékelektronja átugorhat ebbe a lyukba, s így vezetés közben az elektronok a külső tér pozitív elektódja, a lyukak a negatív elektródja felé vándorolnak. A félvezetők vezetőképesége a szabadon mozgó töltéshordozók számával és az 1 volt/cm nagyságú térerő által létrehozott sebességükkel arányos.

A XX. század elején a vákuumcső trióda feltalálásával (1906) lehetővé vált az elektronikus ipar kifejlődése. Wolframot és tóriumot használva katódként vákuumcsőben elektronáramot tudtak gerjeszteni, amely segítségével gyors kapcsolást, s jel erősítést is meg tudták oldani. A telekommunikációt (rádió és telefon) századunk közepén már nem tudta kielégíteni a vákuumcső trióda (nagy energiavesztés, korlátozott élettartam és méret). 1947-ben feltalálták a tranzisztort, amely alapanyagai a félvezetők voltak (germánium, szilícium). Ezek tették lehetővé a digitális számítógépek kifejlesztését. Bizonyosodott, hogy minél kisebb a tranzisztor, annál gyorsabban „dolgozik”. 1950-ben megvalósítva az integrált áramköröket, a tranzisztorok mérete nagy mértékben csökkenthetővé vált. Integrált áramkörben a tranzisztorok, ellenállások, kapacitások és a köztük levő kapcsolatok egyszerre készülnek el egy félvezető szilícium lapocska felületén. A szilícium lapocskák viszonylag olcsón állíthatók elő, de miniaturizálásukat mégis gazdasági tényezők korlátozzák. A lapocskákat úgy állítják elő, hogy egy szilícium-egykristály hengert, 50 vékony szeletre (wafer) vágják, s minden szeletet száz lapocskára (chip) osztanak. Mint minden kristályban, a szilíciumban is vannak kristályhibák. Minden olyan lapocska, amely felülethibás, az működésképtelen. Minél nagyobb a lapocska, annál nagyobb valószínűséggel lesz rajta hiba. Az 1980-as évek végén az 1 cm<sup>2</sup>-nél nagyobb lapok gyártása gazdaságatlan volt. A szilícium lapocskán (1 cm<sup>2</sup>) maximálisan százmillió tranzisztor fér el. Ma még nem érték el a szilíciumra alapozott technológia végső határát. Az utóbbi húsz év anyagtudományi kutatásai már sok biztató eredményt értek el az elektromos jelátvitel, -kapcsolás, -irányítás sebességének növelésében.

A különböző vezetőkben, félvezetőkben az áramot hordozó elektronok véletlenszerű mozgása során sokkal hosszabb utat tesznek meg, mint az eredő elmozdulás, s ezért az elektromos vezető irányában kisebb a sebességük. Mozgásuk sebességét nagyon meg lehetne növelni, ha szóródás nélkül, ballisztikusan mozognának. A kristályban levő szennyeződések, kristályhibák növelik az elektronok szóródási lehetőségét. Ezért az elektronok ballisztikus mozgását két módon lehet biztosítani: növelve a szabad úthosszat úgy, hogy minél nagyobb tisztaságú félvezetőket állítsanak elő, vagy annak a tartománynak a csökkentésével, amelyen az elektronok áthaladnak. Eastman (1977) kimutatta, hogy ballisztikus elektronokon alapuló készülékek létrehozására legmegfelelőbb a gallium-arszenid. Ebben az elektronok sebessége kb. tízszer nagyobb mint a szilíciumban, mivel a szabad úthosszuk is annyival nagyobb. Gyakran használnak alumínium-gallium-arszenidet, ennek rácsszerkezete hasonló a gallium-arszenidéhez, ezért egymásba növeszthetők. Különbőség köztük csak a tiltott sávok szélességében van (a sok alumíniummal ötvözöttben szélesebb, mint a kevesebb alumínium tartalmúban). Az alumínium-gallium-arszenid (A) oldalán az elektronok

helyzeti energiája nagyobb, mint a gallium-arszenid oldalán (B), ezért az A-ból a B-be átlépő elektronok többlet helyzeti energiája mozgási energiává alakul, s nagyon kis idő alatt nagy sebességre gyorsulnak. Ezeket a típusú félvezetőket felhasználó berendezéseket a japánok fejlesztették tovább (THETA-eszközök: Tunneling Hot Electron Transfer Amplifier — forró elektron alagúthatással átengedő erősítő).

1991-ben a Minnesotai Egyetemen kimutatták, hogy a gallium-arszenid rétegre  $C_{60}$  és  $K_3C_{60}$  molekulákból álló fullerén filmek vihetők fel, ezek vezetőképességének eltérése állandó, s ezért elektronikai alkatrészek gyártására alkalmasak. A szakirodalomban szinte naponta jelennek meg új anyagok. Az elektronikaipar anyagkutatása talán egyik leggyorsabban fejlődő ága a kémiának.

A szupravezető (Firka 1991/1) anyagok a veszteségmentes távvezetékek és mágneses energiátárolók anyagai. A jelenséget e higanynál észlelték először 1–20 K hőmérséklet tartományban, még a század elején. Az anyagkutatások eredményeként sikerült már 100 K körüli hőmérsékleten is szupravezető anyagokat előállítani. Ezek mind a kerámiák családjába tartoznak.

Máthé Enikő

## Töltögetés és kannibálok

Azok a problémák, amelyeknek megoldásához keresést kell alkalmazni, a mesterseges intelligencia tárgykörét lépezik.

### 1. A probléma ábrázolása

Vegyünk egy egyszerű feladatot, amelynek segítségével néhány új fogalmat is bevezetünk.

Van egy 3 és egy 4 literes edényünk. A feladatunk, hogy kimérjünk valamelyik edénybe 2 liter vizet.

Tekintsük *állapotok* az edények tartalmát egy adott pillanatban.

(x,y) x: a 3 literes edény tartalma

y: a 4 literes edény tartalma

Tehát a probléma minden állapota ezzel az elempárral írható le.

*Az operátorok a probléma adott állapotát egy másik állapotba konvertálják*, azaz olyan függvények, amelyek értékkészlete és értelmezési tartománya az állapotok halmaza. Természetesen minden operátorhoz bizonyos előfeltételek tartozhatnak; ezek tartalmazzák az átmeneti szabályokat egyik állapottól a másikba. A fenti példa esetében az operátorok a következő töltögetési szabályok:

- Ha nincs tele a 3 literes edény, akkor töltsd tele  
formálisan: ha  $x < 3$  akkor  $(x,y) \rightarrow (3,y)$
- Ha nincs tele a 4 literes edény, akkor töltsd tele  
formálisan: ha  $y < 4$  akkor  $(x,y) \rightarrow (x,4)$
- Ha van víz a 3 literes edényben, akkor önts ki  
formálisan: ha  $x > 0$  akkor  $(x,y) \rightarrow (0,y)$
- Ha van víz a 4 literes edényben, akkor önts ki  
formálisan: ha  $y > 0$  akkor  $(x,y) \rightarrow (x,0)$
- Ha a 3 literes edényből színültig tölthető a 4 literes edény, akkor töltsd tele  
formálisan: ha  $x > 0$  és  $x + y \geq 4$  akkor  $(x,y) \rightarrow (x + y - 4, 4)$
- Ha a 4 literes edényből színültig tölthető a 3 literes edény, akkor töltsd tele  
formálisan: ha  $y > 0$  és  $x + y \geq 3$  akkor  $(x,y) \rightarrow (3, x + y - 3)$
- Ha a 3 literes edény tartalma átönthető a 4 literesbe, úgy, hogy az ne teljen meg, (ha megtelik, akkor lásd e. pont) akkor önts át  
formálisan: ha  $x > 0$  és  $x + y < 4$  akkor  $(x,y) \rightarrow (0, x + y)$
- Ha a 4 literes edény tartalma átönthető a 3 literesbe, úgy, hogy az ne teljen meg, (ha megtelik akkor lásd f. pont) akkor önts át  
formálisan: ha  $y > 0$  és  $x + y < 3$  akkor  $(x,y) \rightarrow (x + y, 0)$