A szilárd-olvadék határfelület alakjának változása a kristályosítási paraméterek függvényében

Babcsán Norbert

Összefoglalás

A félvezetők kristályosításánál kifejlesztett ún. Határfelület Megjelölési (HM) technika segítségével a szilárd-olvadék határfelület aktuális helyzete „beégethető” a kristályba, ezáltal a kristályosítási paraméterek (a frontsebesség, a hőmérséklet gradiens és az áramlásmező) határfelület alakjára gyakorolt hatása nyomon követhetővé válik. A jelen dolgozat összefoglalja az Univerzális Sokzónás Kristályosítóban galliummal szennyezett germániumon végzett kísérletek eredményeit.

Bevezetés

A félvezető egykristályok minőségét nagyban befolyásolja a szennyező anyag eloszlásának homogenitása. Az inhomogenitás okait a kristályosítási folyamatban kell keresni. Mivel maga a kristályosítási folyamat a határfelületen zajlik a határ közvetlen környezete kiemelt jelentőségű. A határfelületen zajló folyamatok komplex módon jelentkeznek, ezért a folyamatok mikéntjéről nehézkes információt gyűjteni. Mivel jellemezhetjük mégis a folyamatot? A határfelület alakja adja meg a szükséges outputot. Az inputot a kristályosítási paraméterek (frontsebesség, hőmérséklet gradiens és áramlásmező) kínálják. A cél a bemeneti és a kimeneti jellemzők közötti egyértelmű kapcsolat felderítése. A kísérletekhez használt berendezés az Univerzális Sokzónás Kristályosító (USK) [1] segítségével a frontsebesség és a hőmérséklet gradiens hatása egymástól függetlenül vizsgálható. A berendezés lényege, hogy a 25 különállóan szabályozható zóna segítségével különböző hőmérsékletprofil - 0,01-50µm/s-os frontsebesség intervallumon belüli - vándoroltatása valósítható meg. Lehetőség van a frontsebesség konstans értéken tartása mellett a hőmérséklet gradiens hatásának, illetve a hőmérséklet gradiens állandósága mellett a frontsebesség hatásának vizsgálatára. Az áramlási mező-határfelület kapcsolat felderítésében számítógépes modellprogram áll rendelkezésre. A dolgozat rövid áttekintést ad a 10^{19} atom/cm³ galliumot tartalmazó germániumon végzett kísérletek eredményeiről.

A Határfelület Megjelölési technika

A nem átlátszó, magas olvadáspontú anyagok esetében a határfelület-alak detektálásának egyetlen módja a szilárd-olvadék fázishatár megjelölése, más néven Határfelület Megjelölési (HM) technika. Gammal dópolt Ge-on keresztülhaladó $1-80 \text{ A/cm}^2$ egyenáram impulzus koncentrációkülönbséget okoz a kristályosodó anyagban, ami megjelöli a szilárd-olvadék határfelületet. Ez próbaelőkészítési eljárásokkal, nagyon finom polírozás ($0.03-0.05 \text{ }\mu\text{m}$ szemcseátmérő), erős speciális marószerek és interferencia kontraszt mikroszkóp alkalmazásával előhívható. Így a próbán megfelelő időpillanatokhoz tartozó koncentrációcsíkokat (vonalak) láthatunk. A koncentrációcsíkok a félvezetőgyártásban hibának számítanak. E hibák vizsgálata vezetett a 70-es évek elején a galliummal szennyezett germánium és az InSb rendszerekben a HM technika kifejlesztéséhez [2].

A határfelület alakjából nyerhető információk és a kristályosítási paraméterek kapcsolata

Irányított kristályosítás esetén a határfelület alakja kis mértékű perturbációban eltérhet a síkfronttól. Az eltérés a síkfront görbülésében (1.a. ábra) illetve a síkfront hullámosságában (1.b. ábra) egyaránt megnyilvánulhat.

1. ábra. (a) görbült határfelület (b) hullámos határfelület

A szilárd-olvadék fázishatár görbülete a kristályosítási folyamat jellemző paramétere. Már korábban megmutatták, hogy a görbület növekedésével a radiális koncentrációkülönbség is nő, ami rontja a jó minőségű (homogén) egykristály tulajdonságait [3]. A cél tehát a sík kristályosodási front elérése.

A görbültség változása (2. ábra) az uralkodó áramlási viszonyok változásával - illetve a kristályosodás előrehaladásával - a kristályosodási hő különböző mértékű „elvezetésével”, azaz az

oldalirányú hőtranszporttal van kapcsolatban. Ez utóbbit az ampulla anyaga és az alkalmazott hőmérsékletprofil határozza meg [4]. A görbék aszimmetriája a berendezés hőmérsékletmezőjének egyenetlenségével függ össze.

2. ábra. A görbület változása a kristályosodás előrehaladtával

Mivel a kristályosodási hőmérséklet 938 °C konstans, ezért arra következtethetünk, hogy a kristályosodó anyag belsejében a hőmérséklet magasabb mint a szélén, azaz a széle előbb szilárdul meg, mint a közepe. Elképzelhető, hogy a görbültség kiküszöbölhető vagy legalább is csökkenthető a kemence hőmérsékletprofiljának fokozatos módosításával. Figyelemre méltó, hogy más berendezéseknél kristályosodás közben a hőmérsékletmezőt csak bizonyos határokon belül lehet változtatni. A hőmérsékletmező e fajta kísérlet közben való finom „igazítása” csak többzónás berendezéssel valósítható meg.

A görbület nagyságának változása összefüggésbe hozható a frontsebesség, a hőmérséklet gradiens és az áramlási mező változásával. Az elvégzett kísérletek megmutatták, hogy a frontsebesség és a görbület változása között egyértelmű kapcsolat áll fenn (3. ábra). A frontsebesség növekedése a görbület növekedését eredményezi.

3. ábra. A frontsebesség hatása a határfelület görbületére

Az áramlásmező modellezése segítségével megállapítást nyert, hogy a olvadékban létező áramvonalak növelik a határfelület görbületét. A határfelület hullámosságának oka is az áramlásmező fluktuációjában, esetleges turbulenciákban keresendő. A berendezés frontsebességének a szabályozás tökéletlenségéből adódó szórása miatt a hőmérséklet gradiens és a határfelület görbülete közötti kapcsolat nem tisztázott. Várható, hogy a növekvő gradiens elmossa, esetlegesen megfordítja a görbület előjelét.

Irodalomjegyzék

1. P. Bárczy: Universal Multizone Crystallizator (UMC) - A precise device for space experiment, Material Science Forum, **77**, 171-184 (1991)
2. M. Lichtensteiger, A. F. Witt és H. C. Gatos, J. Electrochem. Soc., **118**, 1013 (1971)
3. F. M. Carlson, L-Y Chin, A. L. Fripp, R. K. Chroch, Material Processing in the Reduced Gravity Environment of Space, 629 (1982)
4. R. J. Naumann, S. L. Lehoczky, J. of Cryst. Growth, **61**, 707 (1983)

Babcsán Norbert / egyetemi tanársegéd

Nemfémek Anyagok Tanszéke / Miskolc-Egyetemváros 3515 Hungary

T./F.:36-46-365-924, e-mail: femnorbi@gold.uni-miskolc.hu