PARCIÁLIS NYOMÁSOK MÉRÉSÉRE ALKALMAS BEÁGYAZOTT RENDSZER FEJLESZTÉSE REAKTÍV PORLASZTÓBERENDEZÉS SZÁMÁRA

DEVELOPMENT OF AN EMBEDDED PARTIAL PRESSURE MEASURING SYSTEM FOR USE IN REACTIVE SPUTTERING SYSTEM

Fekete Albert-Zsombor¹, Jakab-Farkas László²

¹*S.C. Tetronic S.R.L., 547530, Románia, Marosszentgyörgy, Wesselényi Erzsébet ut-
ca 6 szám; Tel. +40-766-649950, levelezési cím: zsombor.fekete@tetronic.ro*

²*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar,
540485, Románia, Marosvásárhely, Segesvári út 1C; Tel. +40-745-873844, levele-
zési cím: jflaci@ms.sapientia.ro*

Abstract

The reactive magnetron sputtering process is used to obtain thin film coatings utilized in industrial applications, medicine, aerospace, exploiting their versatile structural and chemical properties. The application field of the layers is determined by their composition and structure, which determine their properties. At the International Physics Research Institute from the Faculty of Technical and Human Sciences of Sapientia Hungarian University of Transilvania wear-resistant thin film coatings are studied and produced with reactive magnetron sputtering method. In order to have a reproducible process, it is necessary to have a controlled environment, which is achieved by developing different monitoring and control systems. The main purpose of this article is to present the design process of an embedded system that enables the control of the quadrupole mass analyzer and its connection to the internal ethernet network of the laboratory, as well as the development of the different algorithms for the distributed system. With the help of this equipment it is possible to measure the partial pressures of the different inert and reactive gases used in the sputtering process.

Keywords: *thin film coating, partial pressure, quadrupole mass spectrometer, embedded system*

Összefoglalás

A reaktív egyenáramú magnetronos porlasztási eljárás segítségével számos vékonyréteg-bevonat hozható létre, amelyek felhasználhatóak különféle ipari alkalmazásokban, az orvostudományban, a repülőiparban, kamatoztatva sokoldalú szerkezeti és kémiai tulajdonságaikat. Az alkalmazási területet egyértelműen a rétegek összetétele és szerkezete határozza meg. Annak érdekében, hogy a porlasztási folyamat stabil és megismételhető legyen, szükségessé válik a folyamat valamennyi paraméterének szabályozása, amely testre szabott mérő, adatgyűjtő és irányítási rendszerek fejlesztésével érhető el. A következő cikk fő célja ismertetni a tervezési és megvalósítási lépéseit annak a beágyazott rendszernek, amely vezérel egy kvadrupól tömegspektrométert, valamint lehetővé teszi az analízátor által mért adatok elérését a laboratórium ethernet alapú belső hálózatán keresztül. A megvalósított rendszer segítségével lehetőség nyílik a reaktív porlasztási folyamatban részt vevő semleges és reaktív gázok parciális nyomásainak mérésére.

Kulcsszavak: *vékonyréteg, parciális nyomás, kvadrupól analízátor, beágyazott rendszer*

1. Bevezető

A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Műszaki és Humántudományok Karán belül működő Nemzetközi Fizika Kutatóintézetben kopásálló vékonyréteg-bevonatok előállításával és tanulmányozásával foglalkoznak. A reaktív egyenáramú magnetronos porlasztási eljárással előállított titán-nitrid (Ti_xN_y) és titán-oxinitrid (TiO_xN_y) vékonyrétegek elsősorban az intenzív sűrűlődnak kitett ipari berendezések alkatrészeinek élettartamát hivatottak növelni.

A sikeres és megismételhető, komplex porlasztási folyamat alapfeltétele a rendszer valamennyi paraméterének (porlasztási teljesítmény, rétegnövekedési sebesség, gázhozamok, dinamikus és parciális nyomások) szabályozása. Ezen folyamat rendszert saját tervezésű, testre szabott mérő és irányítási rendszerek, algoritmusok, elektronikai áramkörök kidolgozását és megvalósítását feltételezi.

2. Célkitűzés

A folyamat során használt semleges argongáz, valamint a reaktív nitrogén- és oxigéngázok a porlasztóberendezésben parciális nyomásokat hoznak létre. A reaktív gázok egy adott része részt vesz a reakcióban és beépül a rétegbe [3]. Bár vezérelt hozamszabályozók használata révén a beengedett gázmennyiség ismert és állandó, a folyamat többi paraméterének változása következtében a reaktív gázok parciális nyomásai a folyamat során változnak. Ez természetesen egy nem kívánt jelenség, mivel a parciális nyomás változása hatással van a réteg szerkezetére.

A cél egy olyan irányítási rendszer kifejlesztése, melynek segítségével a reaktív gázok parciális nyomásai szabályozhatóak, s ezáltal lehetőség nyílik az állandó rétegszerkezet elérése is. Megvalósításának első lépése egy mérőrendszer építését feltételezi,

melynek segítségével elvégezhető a parciális nyomások folyamat közbeni mérése. A használt analizátor egy kvadrupól típusú tömegspektrométer, melynek aktív pásztázási tartománya 0-99 atomtömegegység (Da). Az analizátor ionizálja a gázt, majd elektromos tér segítségével szétválasztja az ionokat a tömegtöltésük (m/z) függvényében [1-2]. Továbbá megadható a mérési érzékenység és felbontás is, melyek függvényében változik a pásztázási idő is pár másodperc és 1-2 perc között. Minél nagyobb a felbontás, annál tovább tart egy teljes mérés. A megengedett, biztonságosan használható nyomástartomány felső határa 10^{-9} Torr. Egy teljes pásztázás eredménye atomtömegegység és Torrban kifejezett parciális nyomás típusú adatpárokból épül fel.

1. ábra. Kísérleti berendezés: kvadrupól tömegspektrométer (QMS) saját vákuumkamrával, turbomolekuláris szivattyúval és vészleállító áramkörrrel

3. Beágyazott rendszer fejlesztése

A beágyazott rendszer alapvető feladata egy stabilan működő, megbízható platform biztosítása a különböző irányítási, adatfeldolgozó és adattovábbítási algoritmusok számára, melyeknek köszönhetően egy könnyedén paraméterezhető és kezelhető mérőrendszert kapunk.

A beágyazott rendszer, melynek leegyszerűsített elvi tömbrajza a **2. ábrán** látható, két mikrovezérlőre épül, amelyek jól meghatározott és elkülönített feladatokat látnak el.

2. ábra. Beágyazott rendszer leegyszerűsített elvi tömbrajza

Egy DSP típusú, 16 bites architektúrájú mikrovezérlő gondoskodik a tömegspektrométer összes időkritikus irányítási és számításigényes adatfeldolgozási algoritmusainak a végrehajtásáról. Másodlagos feladata egy helyi ember-gép interfész (HMI) működtetése.

A HMI révén helyileg ellenőrizhetőek a tömegspektrométer paraméterei, a rendszer aktuális állapota, valamint az ethernet típusú hálózati csatlakozás beállításai (MAC cím, IP cím).

A második, 32 bites architektúrájú mikrovezérlő alapvető feladata biztosítani az adatforgalmat a különböző kommunikációs interfészek között, feldolgozni a beérkező utasításokat és kiszolgálni a kéréseket. Az ethernet alapú hálózaton TCP csomagok formájában történik az adatok kétirányú küldése, továbbá egy beágyazott web-szervernek köszönhetően böngészőn keresztül is elérhetjük a tömegspektrométer bármilyen mobil platformról. A különböző algoritmusok helyes működését az együtt-

működő többfeladatos feldolgozás („cooperative multitasking”) biztosítja [4].

3. ábra. A megvalósított mikrovezérlős beágyazott rendszer

A nyomtatott áramkör tervezésének egyik alapkövetelménye a zajimmunitás biztosítása, valamint a 100 Mbit/s adatátviteli sebességre alkalmas ethernet interfész alkatrészeinek kompakt elrendezése. A zajimmunitás lokális EMI/EMC szűrők, ferrit- és alacsony impedanciás tantál- vagy kerámiakondenzátorból felépülő LC szűrők segítségével érhető el. A rendszerben megjelenő, kHz tartományban levő zajok elsődleges forrásai a porlasztási folyamatban használt, nagy teljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek.

A négyrétegű nyomtatott áramkör esetében a mikrovezérlők felőli közbelső, árnyékoló szerepet betöltő réteg GND potenciálra van kötve, ezáltal a fémház használata nem kötelező.

3.1. DMA vezérlő alkalmazása soros adatcsere hatékonyságának növelésére

A hardverközeli algoritmusok és a mikrovezérlőben lévő DMA („Direct Memory Access”) vezérlő segítségével az aszinkron soros kommunikációt kívántuk hatékonyabbá tenni azáltal, hogy függetlenítjük a processzortól a belső RAM memória és a soros periféria között zajló adatcserét [5]. A soros interfész mindössze 4B-os puffere, valamint a nagy adatforgalom indokolja a DMA vezérlő használatát.

4. ábra. DSP mikrovezérlő DMA és buszrendszerének elvi tömbrajza [5]

A 4. ábrán megfigyelhető, hogy a DMA vezérlő egy saját buszon keresztül eléri a soros perifériát, valamint a dual-port RAM típusú memóriát [5]. Mivel az adatcsomagok mérete széles skálán változhat (3B-4kB), csak a küldésnél használjuk a DMA vezérlőt, hiszen csak ebben az esetben ismert előre a csomag hossza. Az adatok fogadása tehát a hagyományos, bájtonkénti csomagösszerakás módszerén alapszik.

A beágyazott rendszerben levő 40MIPS-es dsPIC33FJ128MC706A mikrovezérlő esetében a DMA vezérlő és az alkalmazott algoritmusok használatával 500ns/B végrehajtási idő takarítható meg.

3.2. Mérési eredmények

A mérőrendszer működésének ellenőrzésére számos próbamérést végeztünk.

5. ábra. Próbamérés: 3 különböző pásztázás eredménye (azonos érzékenység és mérési feltételek)

A mérések több napos eltéréssel, de azonos feltételek mellett zajlottak. Minden esetben azonos volt a beállított érzékenység, valamint a mérőrendszer saját vákuumkamrájában lévő gázelegy összetétele. A mérések eredményeit az 5. ábra tartalmazza.

4. Következtetések

A nyomtatott áramkör tervezése során használt eljárásoknak köszönhetően a laboratóriumban megjelenő vezetett és sugárzott zajok nem befolyásolják az elektronikai áramkör működését. Az azonos feltételek mellett történő, de időben többnapos eltéréssel elvégzett próbamérések eredményei minimális eltéréssel ($\pm 1\%$) megegyeztek, ezáltal elmondhatjuk, hogy a mérőrendszer alkalmas a porlasztási folyamat során használt semleges és reaktív gázok parciális nyomásainak mérésére.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dunnivant, F.M., Ginsbach, J.W.: *Gas Chromatography-, Liquid Chromatography-, Capillary Electrophoresis-Mass Spectrometry – A basic introduction*. Whitman College, Chemistry Department, 2011. 5.5.2 alfejezet.
- [2] Dunnivant, F.M., Ginsbach, J.W.: *Flame Atomic Absorbance and Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*. Whitman College, Chemistry Department, 2011. 4. fejezet.
- [3] Berg, S., Nyberg, T.: *Fundamental understanding and modeling of reactive sputtering processes*. Science Direct, Thin Solid Films 476, 2005. 215–235.
- [4] *** TCP/IP programcsalád leírása: *Microchip TCP/IP Stack Help* (verzió: 5.42.08 – 2013.).
- [5] *** DMA vezérlő ismertetése dsPIC33-as mikrovezérlőre: *Section 22. Direct Memory Access (DMA)*, Internetes elérési lehetőség: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70182C.pdf> (2014).