

О П И С А Н И Е

на някои от резултатите от изследванията на **чл.-кор. Г.Младенов**

Проф. Младенов изследва взаимодействието на снопове от електрони и йони с материалите, както генерирането им и прилагането им за технологични цели.

1. Важно приложение на добре фокусирани електронни снопове е за заваряване на метали и сплави във вакуум. Г. Младенов още в кандидатската си дисертация- през 70-те години на миналия век пръв посочва ролята на плазмените явления при процесите на обработка с остро-фокусиран електронен сноп.

Тази роля е в две направления. Първото се нарича *йонна* (или газова) *самофокусировка* на електронния сноп. Поради отрицателния заряд на електроните те не могат да се фокусират до плътности на мощност над 10^6 - 10^7 W/cm² (за разлика от сноп от фотони). Но когато интензивен електронен сноп попадне върху метал, например, изпарените и йонизирани метални атоми компенсират отрицателния пространствен заряд на електроните и снопът се самофокусира. Така се обяснява много дълбокото проникване на технологичните електронни снопове в метала (кинжалните шевове достигат до 100-200 mm, докато проникването на ускорени електрони е само микроми). Младенов пръв прави това обяснение на дълбоките шевове при електроннолъчевото заваряване (като заедно с йонната самофокусировка показва, че тя пък е ограничена от разсейването на електроните в парите на изпарявания метал). Предложено е да се въведе понятието *локална неутрализация на снопа*, на базата на което се прави нова класификация на интензивните електронни снове.

Г. Младенов пръв (и после многократно) експериментално, а след това и теоретично определя разпределението на концентрацията и потенциала на *плазмата над заваръчната вана*, като с това постигна обосновано използване на тока от метален колектор с подходящ потенциал за контрол на заваръчния процес. Оптимално фокусиране на снопа съответства на максимума на колектирания ток от плазмени електрони, измерени с помощта на сонда на Ленгмюр. При положителен потенциал на колектора, превишаващ плазменния потенциал, колектираният електронен ток е ток на несамостоятелен дъгов разряд, горящ от прегретите участъци на стените на кратера, където попадат успелите да проникнат електрони на снопа. По този начин плазменният сигнал при тези условия носи информация за неустойчивостите в системата снопа / кратер.

2. Проф. Младенов пръв предлага да се използва за характеризирание на качеството на технологичните електронни снопове и оборудването, което ги генерира *приведената електронна яркост* (т.е. отношението на яркостта към ускоряващото напрежение) или енергията на частиците към емитанса (площта, заемана от частиците на снопа във фазовото пространство, определено от координатите напречно разстояние и момент на движение), а при еднакви скорости на електроните- просто от емитанса. Яркостта и емитансът измерват едновременно пространственото и ъглово разсейване на електроните в снопа, което заедно с енергията на частиците определят възможността снопът да се фокусира максимално и да се пренася на дълго разстояние добре концентриран.

Познаването на тази характеристика ще позволи пренасяне на технологичния процес от една инсталация на друга. *Компютърното моделиране на технологичните електронни пушки, използващо фазов анализ*, предложено от Г. Младенов има редица предимства ред конвенционалния траекторен анализ, прилаган при разработка на електронни прибори и електронни микроскопи.

Предложени са нови методи за експериментално *определяне на емитанса* чрез две двойки взаимно-перпендикулярни процепи, разположени един над друг, а когато има въртливо движение на лъча-през радиални процепи, като е показано, че измерването на разпределението на плътността на тока в три напречни сечения на снопа позволява изчисляване на емитанса.

Предложени от проф. Младенов *формули и номограми*, базирани на решаване на уравнението на топлинния баланс и отчитане на топлинната ефективност дават възможност *да се подбират режимите* на електроннолъчево заваряване на тънкостенни и дебелостенни образци, при повърхностна термична електроннолъчева модификация, както и при технологията за създаване на тримерни образци със селективно топене на слоеве от метални прахове. Прилагането на статистични модели за конкретен материал и настройка на машината позволява да се оптимизира дълбочината и ширната на заваръчните шевове, разстоянието пушка-образец, избор на устойчиви режими на процеса.

- 3, При електронно-лъчево топене и рафиниране на титан, тантал, ниобий, хафний и други труднотопими метали трябва да се изучава кинетиката на промяна на примеси, от която да се определи лимитиращия намалението на примесите процес, и след това да се оптимизира рафинирането. Например при рафиниране на мед, определящи са процесите на транспорт на примесите от вътрешността на течната вана към повърхността и. Затова рекордно-чиста безкислородна мед се получава като се претапя нечиста-черна нерафинирана мед или се добавя графитов прах (може да се ползва графитов тигел). Примесните онечиствания пренасят кислорода от обема към повърхността и така се получава мед със съдържание на кислород под 10 ppm.

При изясняване *ролята на топлинния контакт* между отливания блок и медния водо-охладен кристализатор е намерена локална нестационарност на топлоотвода, поради разликата в топло-отвеждането при контакт на течен метал с охладената стена и при поява на твърда коричка на тази граница. От тези колебания на топлопредаването зависи грапавостта на блока, а следователно и дебелината на отнеманата стружка- която е отпадък, необходима за гладка околна повърхност на отливания блок, преди следващите процеси на пластичната му деформация.

Направен е регресионен анализ на получаваните експериментални данни за състава и загубите на металните и неметални компоненти при електронно-лъчево топене и рафиниране на метал сплави и са получени модели за оптимизиране на технологиите.

4. Проф. Г.Младенов е един от пионерите по изследване процесите при йонна литография. Йонната литография превъзхожда електронната литография

поради практическото отсъствие на ефекта на близост, а значи по-висока разделителна способност. Става дума за това, че поради много по-големите маси йоните имат почти праволинейни траектории в полимерния резист, докато траекториите на проникващите електрони са силно начупени и затова електроните модифицират полимера в съседни на желаните участъци на модификация на резиста.

При облъчване на полимерни слоеве с йони *електронните загуби* на проникващите частици са определящи за модификацията или отстраняването на слоя от бомбардирания участък (докато при бомбардиране на неорганично вещество ядрените загуби са решаващи). Става дума за това, че при йонна имплантация пробезите на внедряваните частици зависят от ядрените удари между падащия йон и атомите на мишената, а при йонно разпрашване ударите между ядрата на взаимодействащите частици водят до напускане на мишената на повърхностни атоми. Проф. Младенов показва, че *при облъчване на полимерен слой с йони електронните взаимодействия са решаващи*- т.е. възбуждат се или накъсват електронните връзки в полимера което води до модификацията му или отстраняването му от облъчвания участък. Това позволи на проф. Младенов още тогава да прогнозира, че разработваните в много изследователски организации йонни сонди с галиеви йони няма да са приложими за йонна литография. По-добри резултати ще се получат при използване на по-тежки йони с по-високи енергии, които имат по-високи електронни загуби. По това време Г. Младенов адаптира програмата TRIM на проф. Бирсак и направи първите компютърни симулации за проникване на ускорени йони в полимери.

5. Проф. Младенов пръв посочи, че при високи дози на йонна имплантация на Бор в Силиций се достига до насищане на слоевото съпротивление, поради предели на електрическата активност и на разтворимостта на Бора в силициевите кристали. Затова по-високо дози на имплантация са ненужни. Този резултат на Г. Младенов се използва в десетки американски патенти на полупроводникови биполярни прибори и интегрални схеми, като интересно е, че цитират по-често публикацията в Доклади на БАН, и по-малко тази в Thin Solid Films.
6. В областта на електронната литография, в лабораторията на проф. Младенов е разработен един от *най-добрите в света софтуерни* пакети за симулиране на процесите на експониране и проявяване на електронно-чувствителните полимерни слоеве (електронни резисти).

За пръв път е предложено за използване на термичните промени на резиста по време на електронна литография. Предложен е оригинален метод за електронно-литографска обработка, при който вместо промяна на разтворимостта след електронно облъчване се постига промяна на чувствителността към облъчване с фотони, а желания релефен образ се получава след ултравиолетово облъчване. Така се удава съчетаване на фото-литография и електронна литография, което дава възможност да се съчетаят преимуществата на двата метода. Методът, след разпадането на българското микро-електронно производство намери приложение

при чужди производители, а нашето изобретение им попречи да го патентоват за свое.