

ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ НА ВИРОБНИЦТВІ ТА ЛАБОРАТОРІЯХ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

*Цимбал Б. М., к.т.н., ст. викл. (каф. ОПтаТЕБ НУЦЗ України);
Пащенко А. Р., студ. (гр. МОП-18-521, ФТЕБ НУЦЗ України)*

Анотація. В даній роботі представлено аналіз професійних ризиків на виробництві та лабораторіях мікроелектроніки, визначені причини виникнення цих ризиків, вплив на організм людини в процесі професійної діяльності, запропоновані заходи з попередження цих ризиків, а також заходи для надання індивідуально та колективної першої допомоги у разі хімічного ураження шкіри і/або очей працівника.

Ключові слова: професійний ризик, мікроелектроніка, хімічний ризик, опромінювання, хімічне ураження, інфрачервоне опромінювання, заходи колективного захисту.

Abstract. The analysis of occupational risks in the industry and laboratories of microelectronics is presented, the causes of these risks are identified, the impact on the human body in the process of professional activity, proposed measures to prevent these risks, as well as measures for the provision of individual and collective first aid in the event of chemical damage to the skin and/or eye worker.

Keywords: professional risk, microelectronics, chemical risk, irradiation, chemical damage, infrared radiation, collective defense measures.

Вступ. У галузях та лабораторіях мікроелектроніки широко використовуються багато корозійних або токсичних хімічних речовин, розчинники та кислоти або луг, у рідкій або газоподібній формі або металевий пил, деякі з яких є канцерогенними. Тому працівники галузі мікроелектроніки, зокрема, піддаються впливу хімічних ризиків, а також ризиків випромінювання, електричних та фізичних [1].

Аналіз стану питання. Галузь мікроелектроніки виробляє та використовує велику кількість напівпровідникових матеріалів, яке включає виробництво електронних компонентів та вставлення на картки, друкованих схем та ін., необхідних для роботи всіх електронних пристроїв та систем, які присутні у більшості продуктів.

На виробництві та лабораторіях мікроелектроніки широко використовуються багато корозійних або токсичних хімічних речовин, розчинників та кислот або лугів, у рідкій або газоподібній формі або металевий пил, деякі з яких є канцерогенними.

Тому працівники сектору мікроелектроніки особливо піддаються хімічним ризикам при виробництві напівпровідників та електронних карт, а також ризику випромінювання (ультрафіолетовому, лазерному та ін.), електричному та фізичному [2].

Це сектор, в якому працює велика кількість жінок, і хімічні ризики для робітників, які вагітні або можуть бути вагітні, збільшуються хімічними речовинами, що мають репродуктивну та тератогенну дію.

Завдяки відповідним колективним та індивідуальним профілактичним заходам ці ризики можуть бути зменшені, а професійні ризики в галузі мікроелектроніки можуть мати низьку дію.

Виготовлення напівпровідників полягає у виробництві кремнієвих пластин та складання пластин в інтегральних схемах, тобто електронних компонентів, таких як транзистори, резистори і т. п., які з'єднані один з одним на одній кремнієвій пластині (електронний чіп). Електронні дошки складаються з основи, виготовленої з епоксидної смоли або скловолокна або кераміки, на якій напівпровідники та інші компоненти закріплені та припаяні один до одного [3].

При виготовленні напівпровідникових матеріалів застосовуються надзвичайно токсичні та/або корозійні речовини: допінгові речовини (фосфор, миш'як, галій і т. п.), вологі очищення, травлення та засоби для чищення використовують багато. На виробництві застосовують такі розчинники: трихлоретилен, ацетон, ізопропанол для очищення, знежирення напівпровідників та видалення залишкових смол.

Більшість процесів очищення та фотолітографії виділяють леткі органічні сполуки під час фази сушіння резистивних шарів, застосування розробників. Також застосовують кислоти та основи: сірчана кислота, соляна кислота, плавикова кислота, перекис водню та ін. для очищення, травлення і видалення резистивних шарів. Серед газових і дезінфікуючих газів перфторировані сполуки (перфторуглеродні речовини або ПФУ) широко використовуються під час виробництва напівпровідникових виробів (зокрема, при виробництві рідкокристалічних екранів). Кремнієві пластини виготовляються в чистій кімнаті, де температура, вологість, тиск і витрата повітря зазвичай контролюються та регулюється.

Якщо виробництво напівпровідників здійснюється в герметично закритих оболонках або реакційних камерах, вони, тим не менше, вимагають періодичних отворів для очищення відкладень на стінах, які можуть випромінювати невеликі кількості частинок та органічних розчинників у реакторі.

Крім того, витоки газу, особливо під час заміни фільтрів, в трубопроводі можливі для скидання кислотних парів під час протікання різних технологічних та хімічних процесів: вивільнення соляної кислоти, фторопласта, парів сірчаної кислоти, хлориду водню, перекису водню обумовлені очищенням, травленням та видаленням резистивних шарів під час виготовлення, очищення, підготовці поверхонь, травлення хлоридом міді та гальванічній обробці напівпровідників для виготовлення друкованих схем, а також під час обробки кремнієвих пластин.

Викиди оксидів азоту під час виготовлення напівпровідників утворюються з побічних продуктів процесу спалювання від опалювальних котлів та термічних окислювачів. Фрезерні операції під час виготовлення друкованих схем та під час процесів, що стосуються підкладки, можуть

виділяти досить великі кількості пилу, з яких арсенід галію та фосфід індію є особливо токсичними [4].

Мета роботи: ідентифікувати професійні ризики на виробництві і лабораторіях мікроелектроніки та розробити заходи з їх попередження.

Методики, матеріали і результати досліджень. При виготовленні напівпровідників, мікрохвильові, оптично-електронні, світлодіодні та фотоелектричні елементи є процесами, які представляють один з найбільших хімічних ризиків (включаючи канцерогенність) через високий і частий вплив на них. Деякі смоли, що використовуються в чистих приміщеннях, токсичні, впливають на репродуктивну функцію людини та/або наявні ризики під час вагітності несприятливих ефектів для ембріона.

Питання охорони здоров'я головним чином стосуються ризику дихання викидів токсичних газів, парів та пилу: при вдиханні, особливо в розчинниках, вони надходять у легені і проникають безпосередньо в кров, потім у серце і мозок і деякі леткі органічні сполуки проходять через ліпоскірну тканину і через кров дифундують у все тіло. Летючі органічні сполуки (ЛОС) мають дуже шкідливий вплив на здоров'я (подразнення очей, слизові оболонки дихальних шляхів, розлади серцевої та нервової систем, головні болі, нудота та ін.), а деякі ЛОС є ймовірними канцерогенами, інші – токсичні для розмноження або мають мутагенні властивості.

Безпосередня шкірна токсичність корозійних кислот викликає подразнення шкіри, що призводить до почервоніння (на спині рук і між пальцями), свербіж (свербіж), відчуття печіння, тріщини, пілінг та розтріскування, ураження епідермісу і запальна реакція в дермі. Виразки слизової оболонки носа та подразнення легенів кислими або лужними туманами від діяльності мікроелектроніки, призводять до важких опіків, перфорації носової перегородки, гострих бронхопневмопатій.

Вплив ультрафіолетового світла або рентгенівських променів на друковану схему для позитивного фоторезистивного шару, щоб стати розчинним у ділянках, що випромінюють випромінювання, передбачає виробничий процес, що включає іонізуючі або неіонізуючі джерела рентгенівського випромінювання, такі як ультрафіолетове випромінювання. Фіолетова дуже коротка довжина хвилі, тому що з посиленням техніки мініатюризації еволюціонували до використання радіації, що не підлягає дифракції.

Інфрачервоне випромінювання також може бути вироблене деякими типами потужних нагрівачів. Зокрема, рентгенівські промені негативно впливають на шкіру, еритроцити, кістковий мозок, очну лінзу та гонади. Ці безпосередні ризики (радіодіози, анемія, геморагічний синдром, катаракта, зниження репродуктивної функції та ін.) пов'язані з гострим випромінюванням, що відповідає підвищеній дозі.

Пізні ризики (радіаційні інфекції, включаючи рак щитовидної залози, саркоми з кістками, лейкемії, ін. і, можливо, вади розвитку у потомства) більше пов'язані з накопиченням доз на кількох послідовних X-

опроміненнях. Очі особливо чутливі до ультрафіолетових променів, оскільки ультрафіолетове випромінювання невидиме і не стимулює природний захист очей. Окулярні патології, які вони викликають, є негайними та болючими (фотокератит та фотокон'юнктивіт) або хронічними та осліплення (катаракта).

Ризик інфрачервоних променів у високих дозах є, насамперед, окулярними ризиками катаракти та сітківки та погіршення рогівки, а в меншій мірі – ризиками, пов'язаними з опіками або роздратуванням шкіри. Аналогічним чином, операції різання можуть бути виконані за допомогою лазерного світла, здатного сильно пошкодити очі або шкіру.

Електричні ризики є найпоширенішими у цехах виробництва напівпровідників та друкованих схем, особливо в секторі іонних імплантацій, де кремній легований шляхом бомбардування чипів з прискореним іонним пучком: Іонна імплантатія є серед тих, що мають найважчі електричні ризики в напівпровідниковій промисловості, тому що навіть після того, як джерело енергії відключено, у пристрої все ще є великий потенціал. Аналогічним чином, через важливість потрібної напруги, всі лазери несуть ризик ураження електричним струмом.

Інші ризики в галузі мікроелектроніки – ризик розрізання та розривів під час обробки, – ризики, пов'язані з роботою з переміщенням та нічною роботою, – ризики ТМС, пов'язані з поводженням з важкими об'єктами (кремнієві опори, упаковані кінцеві продукти та ін.).

Найефективнішою профілактикою є первинна профілактика з впровадженням технологій, що дозволяють здійснювати дії на продукти (усунення або використання продуктів заміщення з меншим потенційним впливом на людину) та/або дії на процеси (зайнятість) обладнання або машини, які максимально усувають або обмежують впливи, дуже низькі атмосферні викиди тощо). Колективна профілактика передбачає використання ізольованих та автоматизованих виробничих систем та механічних пристроїв, таких як витяг пилу та парів, щоб зменшити вплив працівників, коли небезпечні хімічні речовини не можуть бути замінені хімічними речовинами, для виробництва напівпровідників, як і при складанні друкованих схем.

Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту (комбінезони, рукавички, захисні окуляри тощо), щоб зменшити ризик виникнення, який не повністю усунений колективними заходами захисту, а також наявністю захисного обладнання та матеріалів.

Перша допомога включає в себе видалення або заміщення найбільш токсичних продуктів. Перший крок – визначити, зокрема, канцерогенні та небезпечні хімічні речовини як частину оцінки ризику документу з єдиним документом про безпеку. Паспорти безпеки, які є обов'язковими для будь-якої небезпечної хімічної речовини, містять інформацію про токсичність продуктів та, зокрема, їх можливий канцерогенний характер. Наприклад, необхідна заміна небезпечних матеріалів, які використовуються у

виробництві напівпровідників, таких як гліколеві ефіри, ціанідові ванни, менш небезпечні альтернативи та заборона використання трихлоретану і трихлоретилену.

Правильне розбиття на робочому місці. Виробничий процес вимагає атмосфери з дуже невеликим вмістом пилу, а численні хімічні небезпеки мікроелектроніки призвели до багатьох правил, в результаті чого складний комплекс заходів для дотримання стандартів (граничні величини професійного впливу). "Чисті приміщення" включають в себе ламінарний потік, який приводить до руху повітря до землі, що приводить до пилу дуже високою ефективністю систем рециркуляції та фільтрації повітря (фільтри) та вилучення повітря крізь вентилязовані капюшони, та система для нейтралізації рідких відходів, що містять кислоти або основи. Крім того, спеціальна вентиляція призначена для евакуації газоподібних хімічних речовин, що утворюються на робочих станціях, зокрема для різання, шліфування, полірування або травлення.

Зниження викидів кислотної пари шляхом встановлення горизонтальних поперечних проточних мокрих скрубберів або протиструйних вертикальних мокрих скрубберів. Використання запобіжних пристроїв на поверхні ванни та поверхнево-активних речовин. Переробка сірчаної кислоти, яка використовується для виготовлення шматочків шляхом нагрівання та перегонки, для очищення кисневого стоку, відновленого та відкачування на вологих станціях. Встановлення кришок на гальванічних ваннах та запобіжних пристроях із сіткою. Поглинання викидів летких органічних сполук за допомогою систем з активацією вуглецю та/або термічного окислення. Зменшення скидання пилу фільтрувальними мішками або електростатичними фільтрами. Локальне вилучення залишків мокрого шліфування. Використання пристрою для виявлення витоків в трубах. Для компенсації будь-якого дефекту або ненормального поведінки приладу або установки або під час технічного обслуговування (наприклад, очищення залишків реагентів органічними розчинниками) майстерні з виробництва мікроелектронних компонентів повинні бути обладнані спеціальною сигналізацією, яка виявляє будь-яку витік токсичних газів, що використовуються в певних процесах.

Встановлення екранів та захисних фільтрів, що поглинають інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання, лазерний екран, захисне рентгенівське обладнання. Припинення випромінювання: лазерне випромінювання повинно бути обмеженим та виготовленим всередині машини. Встановлення блокування та управління пристроями. Перевірка та технічне обслуговування обладнання. Реалізується рентгенівське обладнання (під час періодичних контрольних перевірок уповноваженим органом, контроль якості установок тощо), зокрема, щоб перевірити правильність налаштування пристроїв.

Насправді, паразитне випромінювання може походити з дефектних частин, погане регулювання аксесуарів, що спричиняє витік неекраниваних

отворів, і необхідно перевірити правильне функціонування всіх екранів, віконниць, виходів з вікна.

Зберігання хімічних речовин призводить до таких ризиків, як пожежа, вибух, ризик падіння або перекидання або погіршення упаковки та ін. Всі ці характеристики вимагають, на додаток до запобіжних заходів під час їх використання, складські приміщення повинні бути з металевими стелажми, стандартними підлогами та піддонами, мати шафи безпеки для зберігання легкозаймистих виробів, шафи з утримуючими стелажми, обладнання для зберігання з утримуючими ємностями для запобігання та контролю випадкового витоку рідин забруднюючі речовини. Зниження існуючих ризиків також включає в себе думку про структуру приміщення, схеми зберігання та несумісність між продуктами. Непридатні процедури зберігання можуть призвести до погіршення упаковок, що призведе до витоків або випадкових розривів, забруднення, небезпечних реакцій або аварій, або викликати модифікацію або деградацію виробів, які роблять це більш небезпечним, як вони можуть випускати легкозаймисті або шкідливі пари. Стійка повинна бути стабільною, а її висота не повинна впливати на цілісність упаковки. Зберігання банок розчинників або кислот необхідно проводити в приміщенні, вентильованому механічною вентиляційною системою, захищеною від вогкості та тепла, і всі контейнери хімічних речовин завжди повинні бути добре закупорені.

Електрична установка приміщення для зберігання повинна проводитись із обладнанням, яке може використовуватися в потенційно вибухонебезпечній атмосфері. Хороший стан ґрунту складських приміщень є необхідним для запобігання накопиченню розлитого матеріалу. Заборона куріння в приміщенні повинна бути абсолютно поважною та чітко вказаною (як і всі інші інструкції з техніки безпеки). Необхідно зберігати найменші можливі кількості продуктів, оскільки ризик нещасного випадку або аварії збільшується з тривалістю та обсягом зберігання. Області зберігання хімічних речовин, які використовуються в процесі, повинні регулярно перевірятися на витoki.

Небезпечні відходи (особливо витрачені розчинники, використані мийні розчини, осад стоків, відпрацьовані епоксидні та відпрацьовані ціанідні розчини) повинні бути чітко помічені та зберігатися окремо від інших відходів у спеціальній тарі і повинні бути герметично закритими.

Одягання спеціального костюма з капюшоном та шиттям є обов'язковим для входу в чисті приміщення, треба використовувати довгі штани, а також закриті туфлі на підошві [5]. Макіяж та контактні лінзи заборонені. Носіння захисних окулярів є обов'язковим для обробки будь-якої хімічної речовини, і він настійно рекомендується в усіх інших видах чистоти приміщення. Кожух потрібно носити при роботі з кислотами, лугами та розчинниками у вологих робочих місцях.

Рукавички, виготовлені з нітрилу або вінілу, повинні використовуватися для виготовлення інтегральних мікросхем,

напівпровідників, обробки кремнієвих пластин у кислотних ваннах, змішування, обробки та транспортування хімікатів. Для додаткового комфорту надягання цих рукавичок протягом тривалого періоду може супроводжуватися бавовняним кошлатанням зсередини. Необхідно гарантувати, що захисні рукавички не розірвані і при необхідності негайно будуть замінені.

Для деяких спеціальних операцій з технічного обслуговування, залежно від завдання, що вимагається, та пов'язаних з ним ризиків, необхідне носіння засобів індивідуального захисту органів дихання (фільтрувальна маска або маска з повітрям або автономний дихальний апарат). Костюми та взуття для чистого приміщення повинні регулярно надсилатися на прасування у спеціалізованої компанії, і про їх недоторканність слід негайно повідомити.

Душі для тіла та мийки для очей, які промивають частини тіла та очей, а також частина обличчя людей з хімічними бризами, повинні бути поблизу робочих місць.

Навчання уповноваженою організацією щодо небезпеки використовуваних продуктів та засобів для захисту себе є важливим: наприклад, щоб зрозуміти етикетки контейнера для продукту, знати ставлення до вжитку у випадку витоку або випадкового розливу, знання, як адекватно використовувати первинні засоби захисту, навчання в першій допомозі та вогню та ін.

Висновки. В роботі було ідентифіковано, що для виробництва та лабораторії мікроелектроніки характерні хімічні ризики та ризики опромінювання, які можуть призвести до уражень шкіри та слизової оболонки, а також негативно впливати на репродуктивну функцію працюючого і на майбутнє потомство та викликати злоякісні пухлини. Для їх попередження були запропоновані засоби індивідуального та колективного захисту, а також засоби надання долікарняної допомоги у разі ураження та навчання з безпеки праці.

Література

1. Цимбал Б. М., Чорний В. С. Попередження електричного ризику: мат. Міжнародної науково-практичної конференції курсантів та студентів «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: Харків: НУЦЗУ, 2019. С. 415.
2. Цимбал Б. М., Чорний В. С. Попередження професійних ризиків при установці та обслуговуванні сонячних панелей: мат. XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»: Львів: ЛДУБЖД, 2019. С. 336-338.
3. Черняев В.Н., Васенков А.А. Технология производства интегральных микросхем М.: Энергия, 1977. 375 с.

4. Павлов, С. М. Основи мікроелектроніки : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224 с.

5. Цимбал Б. М., Ткаченко Я. В. Попередження професійних ризиків робітників лабораторії: мат. Міжнародної науково-практичної конференції курсантів та студентів «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: Харків: НУЦЗУ, 2019. С. 409.