

IC-CAP WaferPro: програмне середовище для автоматизованих вимірювань ВАХ, ВФХ і ВЧ характеристик у САПР IC-CAP

Роберто Тінті (Roberto Tinti), Такаші Егуші (Takashi Eguchi), Франц Січка (Franz Sischka), Keysight Technologies
Франсуа Паоліні (Francois Paolini), ST Microelectronics
Переклад: Вадим Потапенко
Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест
 E-mail: Victor_Butyurin@unitest.com

Компанія Keysight Technologies пропонує комплексне рішення для автоматизованого вимірювання ВАХ, ВФХ і ВЧ характеристик, яке допомагає інженерам, які займаються моделюванням і розробкою напівпровідникових приладів, підвищити ефективність вимірювань на напівпровідниковій пластині за різних температур. Рішення IC-CAP Wafer Professional (IC-CAP WaferPro) на базі САПР IC-CAP (Integrated Circuit Characterization and Analysis Program) дає змогу ефективно керувати характеристикографами, аналізаторами ланцюгів, зондовими станціями, матричними комутаторами, термокамерами, а також потужними параметричними тестерами Keysight серій 407x і 408x.

ВСТУП

Точне статистичне моделювання КМОН напівпровідникових приладів для визначення вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик (ВАХ, ВФХ), а також ВЧ характеристик, вимагає збору значної кількості результатів вимірювань на різних пластинках за різних температур. Розробники моделей постійного струму та ВЧ моделей мають узяти на озброєння технології моделювання, що містять складні автоматизовані вимірювання та можливості ефективного обробки даних для виконання розширеного статистичного аналізу та моделювання (рис. 1). Програмне забезпечення автоматизованих вимірювань повинне поєднувати в собі здатність керувати зондовими станціями, матричними комутаторами та термокамерами відповідно до заздалегідь визначених карт пластин, з можливістю запуску комплексу вимірювань ВАХ, ВФХ і ВЧ

характеристик з використанням різних приладів — від параметричних тестерів до спеціалізованих пристроїв. Крім того, дані вимірювань мають бути відповідним чином оброблені для розрахунку основних електричних параметрів, таких як V_{thr} , I_{dmax} або f_T .

ВИХІДНІ ВІДОМОСТІ

Сучасне програмне забезпечення зондових станцій дає змогу дуже ефективно керувати позиціонуванням, корекцією та компенсацією температури, але йому бракує гнучкості для підтримки поповнюваних бібліотек вимірювань користувача і комплексної постобробки та аналізу даних.

ПЗ IC-CAP WaferPro, інтегроване в САПР IC-CAP, має переваги її потужної вимірювальної бази та програмного середовища. Це дає змогу використовувати бібліотеку ефективних стандарт-

них процедур вимірювання (наприклад, адаптивні алгоритми вимірювання), що допомагає значно скоротити загальний час вимірювань. Оскільки стандартні процедури вимірювань працюють у середовищі IC-CAP, то може бути виконана проста або складна постобробка результатів вимірювань (наприклад, розрахунок за точками вимірювань або показниками якості, виключення ВЧ компонентів і пряма екстракція моделей). У цьому документі наведено загальний огляд можливостей, які реалізовані в САПР IC-CAP 2014.04.

ЗАВДАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ

Вимірювання, що проводяться для моделювання напівпровідникових приладів, як правило, точніші, повніші й, отже, займають більше часу, ніж звичайні виробничі вимірювання. Для вимірювань, що виконуються під час виробничого тестування, достатньо було б здійснювати керування зондовою станцією і проводити по одному вимірюванню в точці. А для того, щоб характеризувати вплив температури на модель напівпровідникового приладу, необхідне проведення як точкових, так і співуючих вимірювань, які мають бути повторені за кількох температур (зазвичай за трьох). Для типового МОН техпроцесу отримання даних для всієї партії пластин за кожної температури вимагає декількох геометричних вимірювань, а також вимірювань ємності

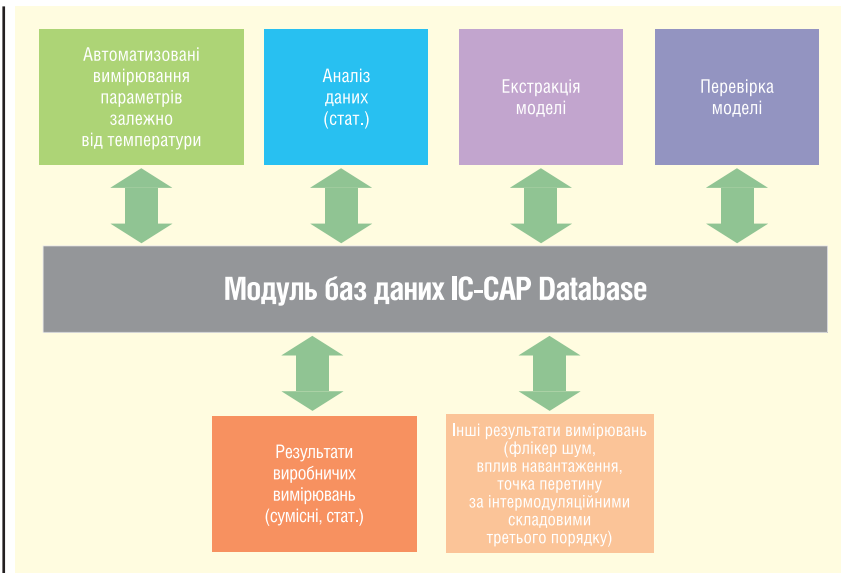


Рис. 1. Типова технологія моделювання напівпровідникових приладів

та параметрів p - n -переходів, що може зайняти кілька годин. Повторне юстування напівпровідникової пластини та зондової станції після зміни температури є особливо складним завданням через теплове розширення пластини в усіх напрямках (у тому числі по осі z). Для автоматизованого юстування необхідні складні алгоритми з використанням технології оптичного розпізнавання, інакше при виконанні юстування для кожної температури будуть потрібні ручні операції.

Для процесу вимірювання, що займає кілька годин або навіть днів, важливою є ефективність без шкоди для точності вимірювання. Програмне забезпечення, що керує автоматизованими вимірюваннями за різних температур, має працювати спільно з власним програмним забезпеченням зондової станції і також з кожним використовуваним вимірювальним приладом. Для досягнення максимальної ефективності та для виключення з процесу вимірювання бракованих приладів або кристалів, програмне забезпечення також повинно бути в змозі контролювати справність напівпровідникового приладу та цілісність кристалів ІС, а потім на основі результатів випробувань вирішити, чи продовжувати вимірювання, омивувши поточний прилад або кристал, чи повністю припинити вимірювання. Крім того, важливо мати можливість відстежувати результати під час процедури тестування для того, щоб зафіксувати будь-які умови відмови, про які повідомляється.

Оскільки цей великий набір даних потім аналізується, щоб статистично визна-

чити типовий набір приладів, які будуть використовуватися для екстракції моделі, необхідно ефективно керувати великими обсягами даних і аналізувати їх.

ПЕРЕВАГИ САПР IC-CAP WAFERPRO

Програмне забезпечення W8510 IC-CAP WaferPro є рішенням, що відповідає актуальним вимогам до вимірювання характеристик. Воно було розроблено спільно з групою моделювання напівпровідникових приладів компанії ST Microelectronics. WaferPro працює на платформі САПР IC-CAP як додатковий застосунок. Вікно проекту WaferPro, наведене на рисунку 2, дає змогу користувачам налаштувати план тестування, що містить карту пластин та інформацію про напівпровідниковий прилад. ПЗ WaferPro взаємодіє з ядром САПР IC-CAP і використовує його вбудовані вимірювальні драйвери, а також можливості моделювання, програмування і графіки. ПЗ IC-CAP WaferPro дає змогу проводити повністю автоматизовані вимірювання за допомогою напівавтоматичних і повністю автоматизованих зондових станцій і містить драйвери різних популярних установок.

Як згадувалося раніше, такі параметричні тестери як Keysight серії 407x у поєднанні з автоматичним юстувальним пристроєм зондової станції, що підтримуються основними постачальниками зондових станцій, мають ключове значення під час проведення ефективних автоматизованих вимірю-

КОМПАКТНІ ГЕНЕРАТОРИ СИГНАЛІВ СЕРІЇ G2 І G3

Компактні генератори сигналів **Keysight** серії G2 і G3 дають змогу визначити характеристики та проводити повноцінні стрес-тести бездротових пристроїв. Швидко і впевнене тестування пристроїв завдяки винятковому діапазону вихідної потужності, низькому рівню фазових шумів і високій швидкості перемикання.

Основні характеристики генераторів сигналів:

- генерація стабільного сигналу з низьким рівнем фазового шуму з роздільною здатністю в мікрогерцах за допомогою термостабованого кварцового генератора (ОСХО);
 - розширення можливостей тестування завдяки функціям розгортки, запуску і програмованої користувачем зовнішньої опорної частоти;
 - просте керування завдяки оптимізованому інтерфейсу користувача, включно з сенсорним РК-екраном і програмним забезпеченням для віддаленого робочого столу;
 - модернізація генератора сигналів до більш високої частоти або додавання додаткових можливостей за допомогою ліцензійного ключа.
- Портативні генератори аналогових ВЧ-сигналів забезпечують чудовий діапазон потужності, спектральну чистоту і швидкість перемикання, при цьому вони мають компактний корпус, який поміщається на будь-якому столі і може бути легко переміщено по лабораторії. Перегляньте [відео](#), щоб отримати уявлення про основні можливості та технічні характеристики і дізнатися, як ефективно використовувати прилад.

Виберіть серію, що відповідає вашим потребам:

- **компактні генератори сигналів G2:** AP5001A, AP5002A, AP5011A, AP5012A — це джерела сигналів загального призначення з наднизьким рівнем фазових шумів для широкого спектра випробувальних завдань;
- **компактні генератори сигналів G3:** AP5021A, AP5022A, AP5041A, AP5042A — надшвидкі генератори аналогових і векторних сигналів, що вирізняються наднизьким рівнем фазових шумів, високою спектральною чистотою і швидким перемиканням.

www.keysight.com

вань за різних температур. ПЗ IC-CAP WaferPro забезпечує максимальну гнучкість, підтримуючи безпосереднє керування параметричними тестерами Keysight, а також спрощує схему вимірювання аж до одноприладного рішення (наприклад, B1500A + B2200A). На відміну від інших застосунків, які можуть бути обмежені певними вимірвальними приладами або типами зондових станцій, при одного разу створеному плані тестування або файлі проекту, ПЗ IC-CAP WaferPro зможе керувати різними системами тестування, що використовують різні вимірвальні прилади. Це дає змогу інженерам оптимізувати використання лабораторного обладнання.

IC-CAP WaferPro є рішенням «під ключ», яке включає низку вбудованих у середовище САПР IC-CAP стандартних процедур вимірювання ВАХ, ВФХ і ВЧ характеристик. Потужна відкрита платформа проектування IC-CAP дає змогу легко додавати спеціальні користувацькі процедури або задані користувачем алгоритми розрахунку показників якості (наприклад, V_{th} для МОН IC на постійному струмі, або f_T для ВЧ вимірювань).

Програмне забезпечення IC-CAP WaferPro дає змогу зберігати результати розрахунків або вимірювань по точках у файлах форматів CSV поряд з інформацією про напівпровідниковий прилад (рис. 3). Дані вимірювань, отримані в результаті свіпування, такі як ВАХ, ВФХ або криві S-параметрів, зберігаються у файлах IC-CAP MDM. ПЗ WaferPro може бути використане для контролю поточних вимірювань, причому аналіз і перевірка отриманих на цю мить результатів здійснюються одночасно з подальшими вимірюваннями. Результати вимірювань можна завантажити назад у середовище WaferPro для подальшої обробки (наприклад, для калібрування ємності тощо).

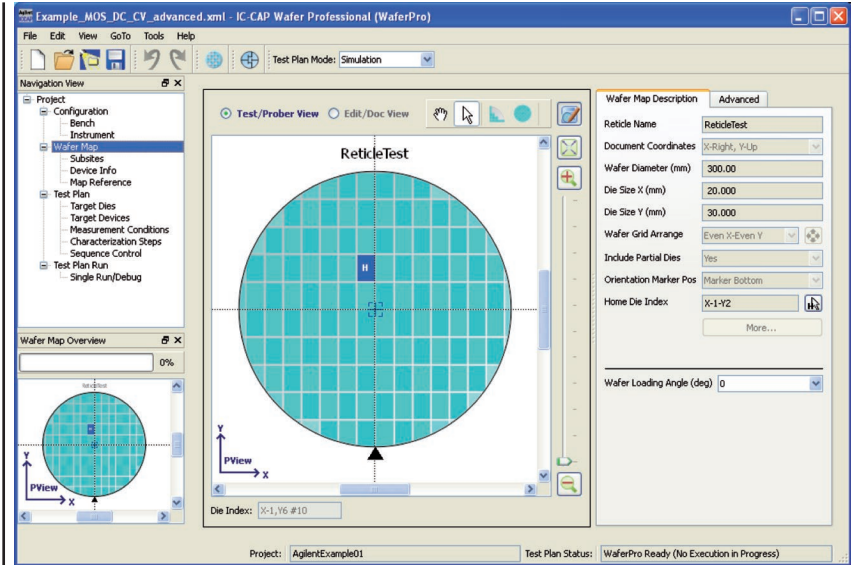


Рис. 2. Вікно проекту WaferPro (визначення карти пластини)

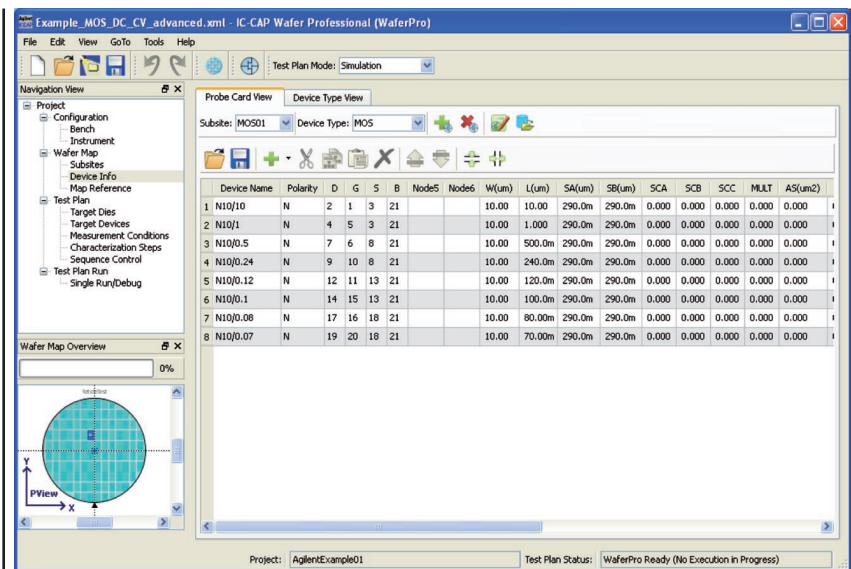


Рис. 3. Інформаційна таблиця напівпровідникового приладу в WaferPro (представлення проб карти)

ПЗ WaferPro може працювати з модулем баз даних IC-CAP Database. Інтерфейс доступу до модуля IC-CAP Database дає змогу зберігати резуль-

тати вимірювань безпосередньо в зазначені реляційні бази даних SQL. Це рішення є потужним і універсальним засобом подальшої обробки та статис-

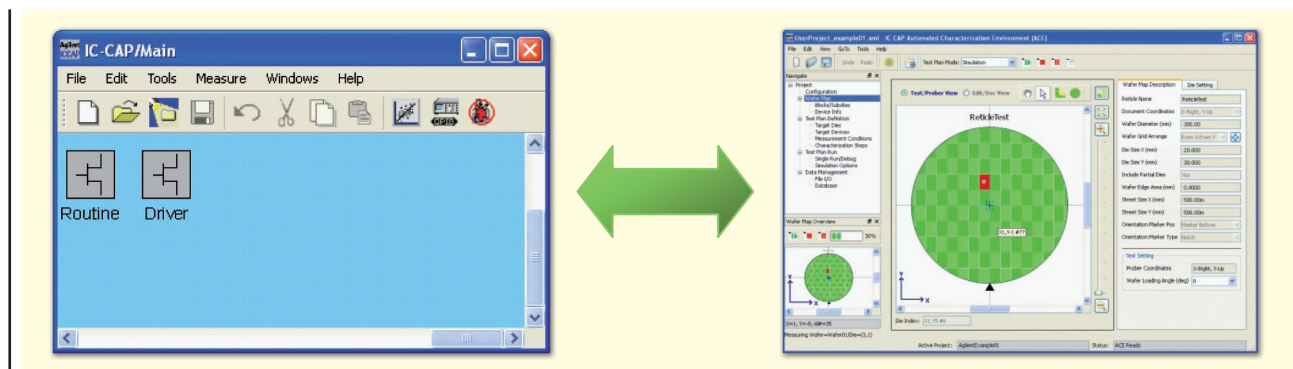


Рис. 4. Вікно проекту WaferPro (визначення карти пластини)

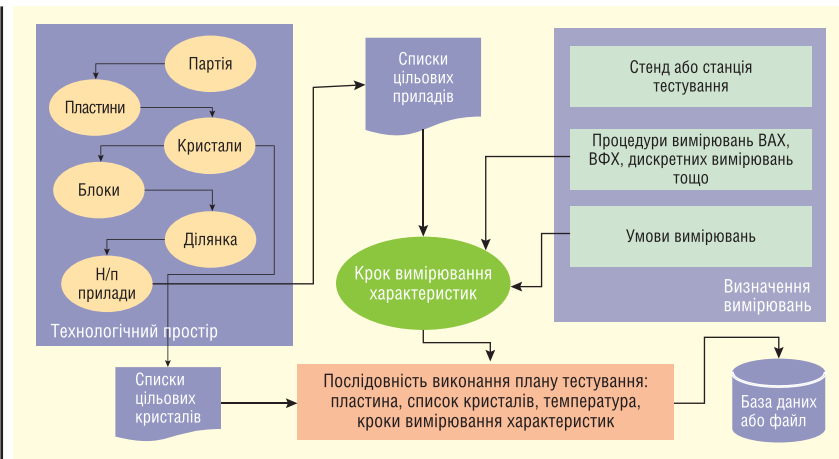


Рис. 5. Структура даних карти пластин і плану тестування WaferPro

тичного аналізу, оскільки воно дає змогу здійснювати ефективні вибірки даних, необхідні для аналізу та проведення інших видів моделювання (наприклад, цільового моделювання).

ЯК ПРАЦЮЄ IC-CAP WAFERPRO

Вимірювальне середовище містить два файли моделей IC-CAP (Процедура і Драйвер) і менеджер планування тестів WaferPro (рис. 4). До складу моделі Процедури входить бібліотека вимірювань; кожна процедура представлена одним досліджуваним приладом і його вимірювальними схемами. Файл моделі

Драйвера містить драйвери підтримуваних зондових станцій, матричних комутаторів і термокамер.

Другою частиною рішення WaferPro є вікно проекту WaferPro. Це вікно надає доступ до параметрів карти пластин (рис. 2), таблиці приладів (рис. 3), а також до вихідних і контрольних даних плану тестування (рис. 5).

На початку складання плану тестування описують пластину, кристали і підкладку. На другому кроці створюють список «цільових приладів», вибираючи прилади, вимірювання яких можуть бути виконані за одноковим алгоритмом (наприклад, пристрої постійного струму, емнісні структури тощо).

Наступним етапом буде створення «кроків вимірювання характеристик», що пов'язують процедуру та умови вимірювань (наприклад, інформація про зміщення, час інтегрування тощо) для кожного списку цільових приладів. На останньому етапі в плані тестування визначається послідовність кроків вимірювання характеристик стосовно зазначених пластин, списків кристалів і температури.

Під час виконання плану тестування запускається другий процес САПР IC-CAP для виконання плану тестування як фонового завдання. У будь-який момент у процесі виконання плану користувач може переглянути всеосяжний журнал, у якому відображено поточний стан виконання плану тестування та результати кожного окремо взятого тесту, включно з будь-якими відомостями або попередженнями з відповідними коментарями (рис. 6). Доступний також перегляд результатів конкретного тесту шляхом його вибору і відкриття відповідного вікна з графіками.

ВИСНОВОК

ПЗ IC-CAP WaferPro є найпотужнішим засобом тестування, спеціально розробленим для вимірювань ВАХ, ВФХ і ВЧ вимірювань під час моделювання напівпровідникових приладів:

- Це готове до застосування програмне забезпечення працює з різними випробувальними комплексами, зондовими станціями і вимірювальними приладами, зокрема з параметричними тестерами Keysight.
- У ПЗ входить низка вбудованих вимірювальних процедур і воно є досить гнучким, даючи змогу користувачам створювати власні процедури вимірювань і розрахунків під час подальшої обробки даних.
- ПЗ сумісне з модулем баз даних IC-CAP Database, що забезпечує основу для розширеного статистичного аналізу та моделювання.

Щоб дізнатися більше про ПЗ IC-CAP WaferPro та отримати додаткову детальну інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies, звертайтеся до її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Юнітест:

04053, м. Київ,
вул. Олеса Гончара, 6,
тел. +38 (044) 272-60-94,
e-mail: web@unitest.com
www.unitest.com

СН

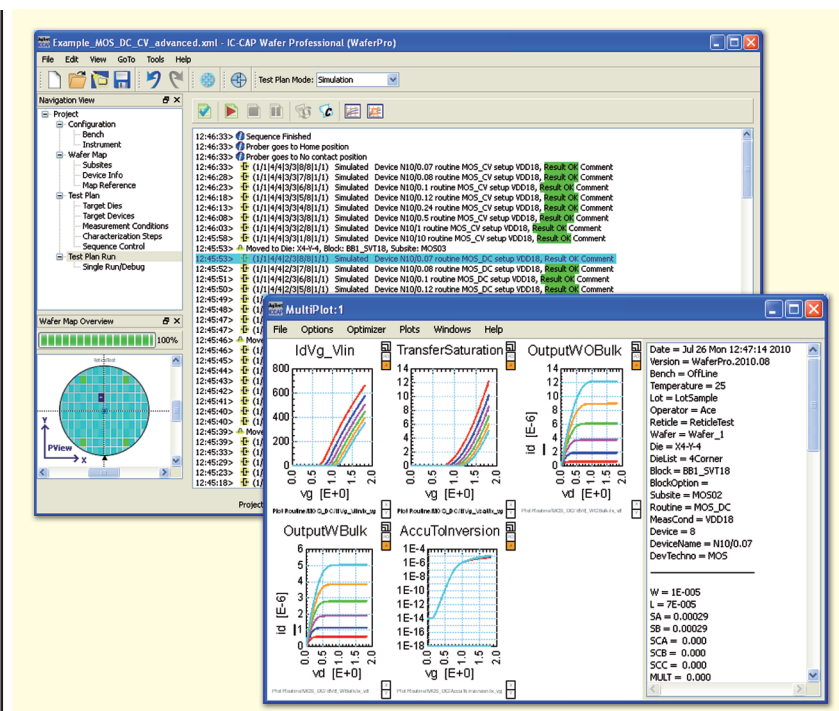


Рис. 6. Інформаційна таблиця напівпровідникового приладу в WaferPro (представлення проб карти)