

## Твердотельная электроника

УДК 621.383

Т.Ю. Білик

### Фотолюмінісценція шарів пористого кремнію отриманих хімічним способом

В работе исследовались спектры фотолюминесценции пластин пористого кремния полученных на разных основах в разных режимах травления. Показано что пористый кремний демонстрирует яркую фотолюминесценцию в красно-оранжевой области спектра (650-750 нм). Пик фотолюминесценции и ширина полосы зависит от условий получения образца. Характер спектра указывает на большое количество кристаллитов разного размера.

In the paper photoluminescence of stain etched porous silicon layers is analyzed depending on wafer type and etching parameters. It is shown that porous silicon has bright, UV-induced luminescence in orange-red (650-750 nm) spectrum. Type of photoluminescence spectrum testify the presence of big quantity of nanocrystals with different sizes

**Ключевые слова:** пористый кремний, фотолюминесценция, химическое травление, спектр, нанокристаллиты.

#### Вступ

З моменту відкриття фотолюмінісценції пористого кремнію при кімнатних температурах [1] почалося інтенсивне вивчення його люмінесцентних властивостей з метою визначення механізму випромінювання. Доведено, що спектральна характеристика та інтенсивність фотолюмінісценції визначається умовами отримання, а отже прямо пов'язані з морфологією поверхні та структурою пористого шару. Проте точні механізми фотолюмінісценції та методи керування цим ефектом досі потребують дослідження.

#### 1. Існуючі моделі фотолюмінісценції пористого кремнію

Під час утворення пористого шару одночасно з утворенням пор продовжується нарощування вторинного кремнію по всій поверхні нанокристалічного кремнію, у тому числі і на стінках пор. Його високий питомий опір в тонких стінках пор забезпечує підвищену стійкість стінок пор до розчинення і сприяє росту крупних пор в глибину основи. Осідання вторинного кремнію на стінках пор також відбувається у вигляді

окремих розрізнених агрегатів, що дозволяє утворюватись мілким боковим відгалуженням пор. Таким чином, згідно нашим уявленням в пор-Si утворюються дві системи пор: крупні «магістральні» пори мікрометрової ширини, що йдуть у глибину основи на десятки мікрметрів і які добре видно у оптичні мікроскопи, і значно більш короткі «нанопори», що відгалужуються від крупних пор. Непрямим підтвердженням можливості утворення вторинних кремнієвих агрегатів з кристалічною структурою (нанокристалітів) є отримання пористих шарів на основах з аморфного кремнію, що люмінісцують у видимій області спектру.

**Квантово-розмірна модель** [1] пов'язує процеси генерації носіїв і їх випромінювальної рекомбінації з кремнієвими кристалітами, а збільшення ймовірності випромінювальної рекомбінації – зі зменшенням їх розмірів. Останнє тягне за собою також збільшення ширини забороненої зони в нанокристалітах, що повинно відобразитися в зсуві спектрального положення максимуму смуги люмінесценції у високо енергетичний бік

**Суперпозиційна модель** [2] передбачає що смуга фотолюмінісценції складається з двох компонент, одна з яких (високоенергетична) обумовлена рекомбінацією екситонів в кремнієвих нанокластерах, а друга (низькоенергетична) – рекомбінацією носіїв через поверхневі дефекти

#### 2. Отримання зразків

В роботі досліджувалися шари мікроструктурованого кремнію, отримані шляхом хімічного травлення пластин монокристалічного кремнію орієнтації [100] р-типу (КДБ-1, 10, 40) та n-типу (КЕФ-4.5), а також текстурованого та не текстурованого кремнію для виробництва сонячних елементів (solar grade) та орієнтації [111] р-типу (КДБ-10) та n-типу (КЕФ-4.5) у розчині  $100 \text{ ml HF} + 2 \text{ g NaNO}_2 + x \text{ H}_2\text{O}$  протягом 30 – 1800 с.

Досліджували зразки після травлення були витримані 30-60 днів на повітрі та піддавалися термічній обробці при  $150^\circ\text{C}$ .

#### 3. Спектри фотолюмінісценції

Збудження фотолюмінісценції відбувалось на довжині хвилі 365 нм.

Більшість зразків демонструє широку смугу фотолюмінесценції (100-120 нм) з піком близько 650-670 нм (рис. 1).

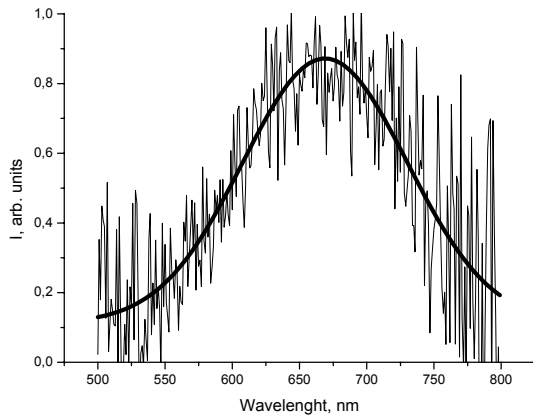


Рис. 1. Спектр фотолюмінесценції пористого кремнію p-Si (solar grade) (100), 60 с

Інтенсивність фотолюмінесценції до деякого моменту залежить від часу травлення, проте при тривалості травлення більше 20-30 хв чіткої залежності не спостерігається. При фотографуванні поверхні під час люмінесценції (рис. 2) видно, що світіння не є рівномірним що підтверджується неоднорідністю спектру.

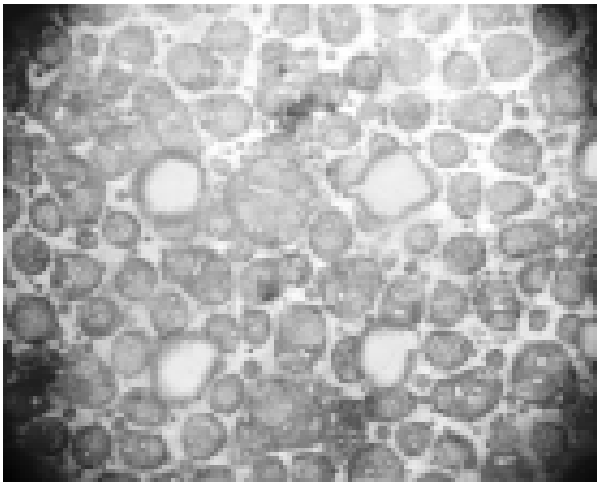


Рис.2. Поверхня пористого кремнію в момент люмінесценції

Для кожного типу пластин можна підібрати комбінацію умов за яких утворюється значна кількість кристалітів одного розміру, що дозволяє отримати пластини з дуже яскравою фотолюмінесценцією (рис. 3). Існування кристалітів одного розміру в такому випадку підтверджується однорідністю спектру (рис. 3) та світіння поверхні (рис. 4)

Спектр у такому випадку є більш вузьким і зміщений в сторону більших довжин хвиль (690-700 нм) (рис. 5)

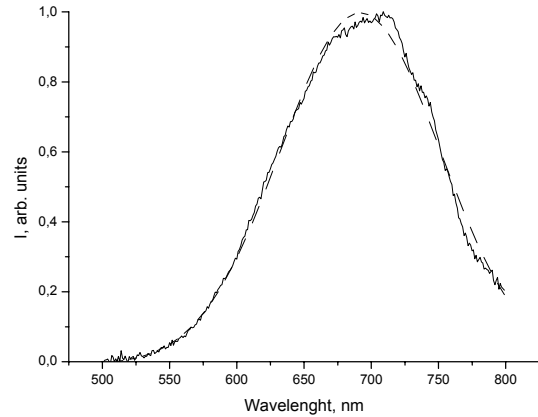


Рис.3. Спектр фотолюмінесценції пористого кремнію n-Si (100), 25 хв

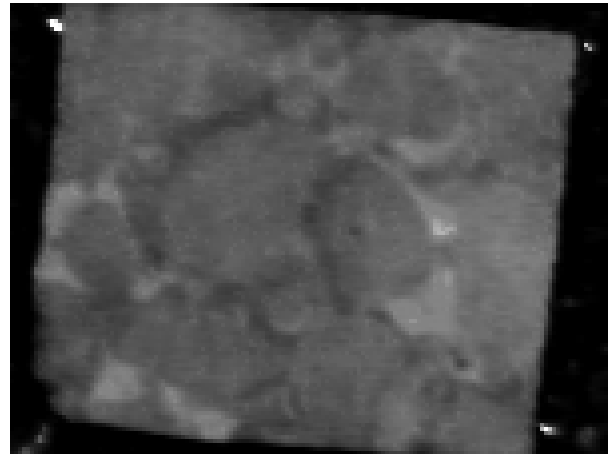


Рис.4. Поверхня пористого кремнію в момент люмінесценції

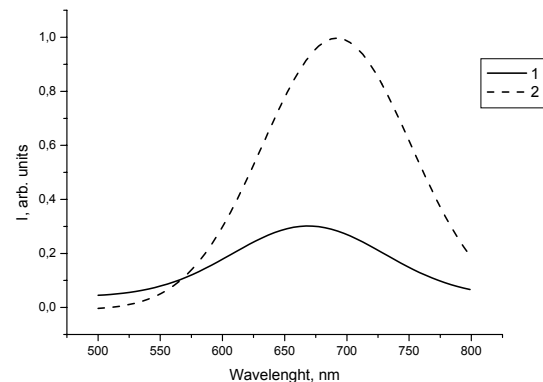


Рис. 5. Апроксимовані спектри фотолюмінесценції пористого кремнію 1 – типовий спектр; 2 – спектр пластин з підвищеною інтенсивністю фотолюмінесценції

## Висновки

Зразки пористого кремнію отриманого хімічним травленням при опроміненні ультрафіолетовим випромінюванням (365 нм) демонструють

фотолюмінісценцію в червоно-оранжевій області спектру (650-750 нм). Спектр та розподіл світіння по поверхні вказує на те що основну роль у фотолюмінісценції відіграють вторинні нанокристаліти утворені на поверхні в процесі травлення. Підбираючи режими травлення, за рахунок утворення великої кількості кристалітів одного розміру можна у 3-4 підсилити інтенсивність фотолюмінісценції

#### Література

1. Canham L.T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers // Appl.Phys.Lett. – 1990. – Vol. 57, №10. – P.1046 – 1048.
2. Корсунская Н.Е., Стара Т.Р., Хоменко-ва Л.Ю., Свеженцова Е.В., Мельниченко Н.Н., Сизов Ф.Ф. Природа излучения пористого кремния, полученного химическим травлением // Фізика и техника полупроводников – 2010. – том 44, вып 1. – С. 82 – 86

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»*