

УДК 539.219.3

Матюшин В.М.¹

¹д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

СТИМУЛЮВАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В НАПІВПРОВІДНИКАХ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗБУДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПРИ ПРОТІКАННІ ПРИПОВЕРХНЕВОЇ ЕКЗОТЕРМІЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ

Стимулювання локальної дифузії є актуальною в електронній технології. Перспективним напрямком приповерхневого стимулювання є дія енергії, що виділяється в результаті протікання на поверхні напівпровідникового кристала екзотермічної хімічної реакції. При цьому енергія виділяється поблизу поверхні, тобто локально, що дуже важливо при створенні складних напівпровідникових наноструктур.

Найбільш простою для дослідження хімічних процесів на поверхні є реакція рекомбінації атомів водню в молекули, в результаті якої виділяється 4,48 Ев на один акт рекомбінації. Виділення такої великої енергії в малому об'ємі (приблизно 10 нм²) приводить до того, що локальна температура різко підвищується (до декілька тисяч градусів). Це приводить до збудження електронної підсистеми напівпровідникового кристала.

Ефективність генерації вільних електронів при рекомбінації атомів водню складає для германію $\eta=0,16$. При цьому значно збільшується ймовірність межзонного переходу міжвалентною зоною провідності. Це приводить до значного підвищення приповерхневої концентрації електронного газу.

В приповерхневих шарах кристала створюється великий градієнт концентрації рухливих носіїв заряду (вільних електронів).

Вільні електрони швидко дифундують в об'єм кристала. При цьому виникає електричне поле значної напруженості.

Атоми металів, які знаходяться в кристалічній ґратці германію та кремнію, можуть іонізуватися та заряджатися негативно (в вузлах ґратки) і позитивно (в міжвузлях). Тому за наявності постійного електричного поля на домішковий атом в кристалі діє сила : $\vec{F}_I = qE$, где q – заряд іона; E – напруженість електричного поля.

Крім сили $\vec{F}_I$ на іон може діяти й інша сила, обумовлена розсіянням на іонах електронів і дірок, що рухаються до електродів. Сила $\vec{F}_2$ тягне домішкові атоми у напрямку руху електронів і дірок. Захоплення іонів електронами провідності може бути дуже значним, таким, що позитивно заряджені іони будуть рухатися проти поля, подібно до атомів з великим негативним зарядом. Сила, що діє на іон, визначається: $\vec{F} = (e_1 - |e|\chi)E$. За відсутності зовнішнього електричного поля розподіл електронів у кристалі (за координатами та імпульсами) є ізотропним, тому результуюча сила, що діє з боку електронів на іон, дорівнює нулю.

Коли накладається зовнішнє електричне поле E , електрони, прискорюючись, набувають додаткового імпульсу. Коли прикладено зовнішнє електричне поле E , електрони прискорюються, набуваючи додатковий імпульс.

Для оцінки заряду захоплення розраховують перетин розсіювання на статичних точкових дефектах. Перетин розсіювання вільного електрона визначається видом потенціалу розсіювання, створюваного точковим дефектом.

Навіть якщо концентрація зарядів n_s становить лише $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, енергія електростатичного поля вже дорівнює поверхневій енергії кристала. Зазвичай спостережувана концентрація знаходиться в межах $10^{11}\text{--}10^{13} \text{ см}^{-2}$. У цьому випадку в германії поле поверхні екранується на глибинах $10^{-2}\text{--}10^{-4} \text{ см}$.

В таких умовах напруженість поля, спрямованого від поверхні в атмосферу: $E_{\uparrow}$ =приблизно 10^6 В/см . Напруженість поля, спрямованого вглиб кристала германію: $E_{\downarrow}$ =приблизно $5 \cdot 10^5 \text{ В/см}$. Це знижує потенційний бар'єр дифузії у напрямку від поверхні вглиб кристала при перескоку іона: $\Delta E = Fa = eE_{\downarrow} + (1 + Z_I) \cdot a$, де a - середня відстань між сусідніми міжвузлями. Для германію ΔE =приблизно $3 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$.

Коефіцієнт міжвузлової дифузії домішки у напрямку поля внаслідок зниження енергії активації зростає та описується наступним виразом:

$$D_{np}^* = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_0 - \Delta E}{kT}\right) \quad (1)$$

Таким чином вплив електронного стимулювання дифузійних процесів може бути в цьому випадку дуже значним.