ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 9, № 4 (2008) С. 887-889

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 9, № 4 (2008) P. 887-889

УДК 539.107.6

ISSN 1729-4428

О.М. Гетманець[2], М.М. Пеліхатий[1], Ю.Ф. Щапов[1]

Процеси формування профілів концентрації атомів віддачі при іонному бомбардуванні шаруватих структур у зовнішньому електричному полі

[1]Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, 61077,
E-mail:sun@univer.kharkov.ua
[2]Харківська державна зооветеринарна академія, Харків, 62341, ХДЗВА,
E-mail:zoovet@zoovet.kharkov.ua

Досліджуються процеси імплантації атомів поверхневих металевих плівок у напівпровідникову підкладку при іонному бомбардуванні структури метал-напівпровідник у зовнішнім електричному полі. Показано, що величина й напрямок зовнішнього поля впливають на профіль концентрації атомів віддачі, що дає можливість керувати процесами формування профілів впроваджених домішок у напівпровіднику.

Ключові слова: металеві плівки, напівпровідники, атоми віддачі, імплантація.

Стаття поступила до редакції 29.05.2008; прийнята до друку 15.09.2008.

Процеси впровадження в напівпровідники атомів віддачі при опроміненні системи метал-напівпровідник пучком прискорених іонів викликають великий інтерес завдяки новим технологічним можливостям даного методу легування напівпровідників у порівнянні із традиційними: дифузійним та іонною імплантацією. Результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів формування профілів концентрації атомів віддачі (ПКАВ) у напівпровідниковій підкладці [1-4] показують, що вони характеризуються ступеневою залежністю від глибини (на відміну від гаусових профілів при іонній імплантації) і мають характерний максимум на глибині до 100 Å, положення якого визначається видом потенціалу взаємодії атома віддачі з атомами напівпровідника, а також енергією поверхневого зв'язку плівки U_0, значення якої звичайно приймають рівної енергії сублімації (3÷10 еВ). При цьому положення максимуму ПКАВ практично не залежить від енергії бомбардуючих іонів. Слід зазначити, що профіль концентрації легуючої домішки визначає електрофізичні властивості отриманої гетероструктури та створених на її основі напівпровідникових приладів. Тому вивчення можливості прогнозованої зміни ПКАВ металів у напівпровідниках є досить важливим завданням для технології іонного легування.

У даній роботі досліджується вплив на ПКАВ зовнішнього електричного поля, яке було прикладено до структури метал-напівпровідник у процесі опромінення. При цьому істотними є два основних ефекти: 1) відтік вільних електронів з об'єму металу, що дозволяє зберігати атомам (іонам) віддачі позитивний зарядовий стан при виході із плівки та вході в напівпровідник; 2) прискорюючий (або гальмуючий) вплив зовнішнього електричного поля в напівпровіднику, коли воно спрямовано уздовж напряму пучка іонів (або назустріч йому).

Розглянемо ці процеси докладніше. Як було показано в роботах [3,4], ПКАВ в напівпровіднику може бути добре описаний наступним виразом:

$$N(x) = N_0 \frac{\chi^{\frac{1-2m}{2m}}}{\left(\varepsilon_0 + \chi^{\frac{1}{2m}}\right)^{2(1-m)}}, \qquad (1)$$

де x – глибина напівпровідника, N_0 – константа, $\chi = \frac{x}{x_{\max}}$, $x_{\max}$ – максимальний пробіг атома віддачі в напівпровідниковій підкладці, $\varepsilon_0 = \frac{U_0}{E_{\max}}$, $E_{\max}$ – максимальна енергія атома віддачі, m – параметр потенціалу Томаса-Ферми, який повільно міняється від значення $m = 1$ при високих енергіях, коли потенціал переходить у кулонівський, до значення $m = 0$ при дуже низьких енергіях, коли істотним стає екранування кулонівської взаємодії. Як було показано в роботах [3,4], найкращого опису профілю концентрації атомів віддачі в області максимуму можна досягти при значенні $m \approx 0{,}055$.

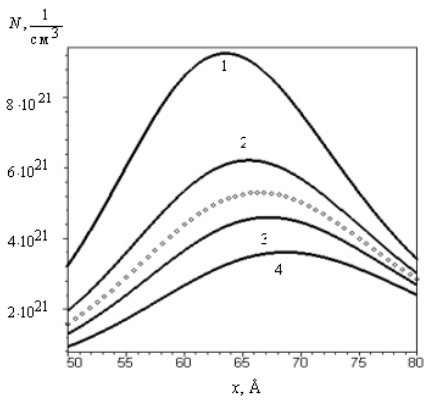

Рис. 1. Профілі концентрації атомів Ванадію в Кремнії.

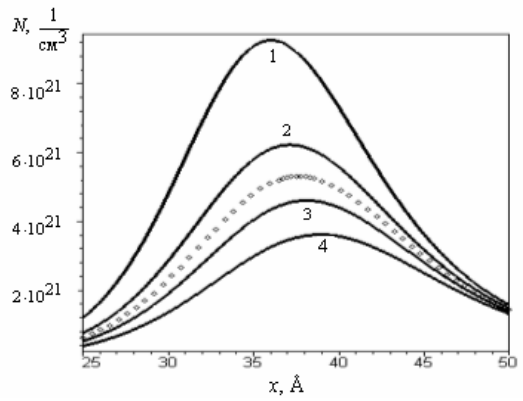

Рис. 2. Профілі концентрації атомів Титану в Кремнії.

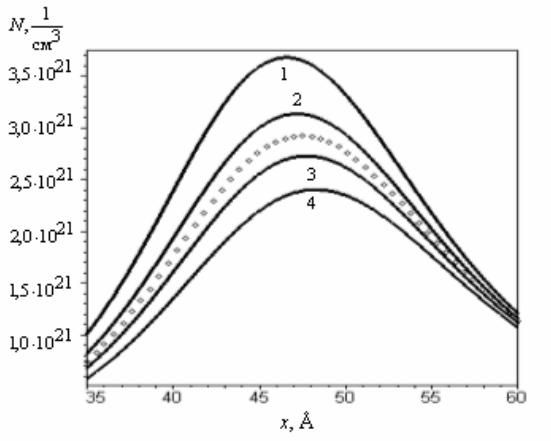

Рис. 3. Профілі концентрації атомів Молібдену в Кремнії.

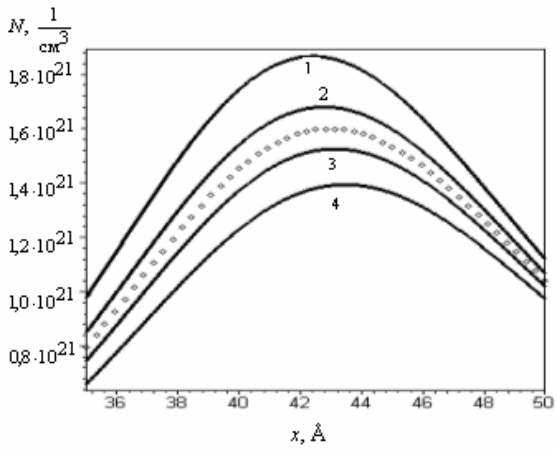

Рис. 4. Профілі концентрації атомів Вольфраму в Кремнії.

При поміщенні структури метал-напівпровідник у процесі опромінення в зовнішнє електричне поле з напруженістю $\vec{E}$ вираз (1) змінюється таким чином:

$$N(x) = N_0 \frac{\chi^{\frac{1-2m}{2m}}}{\left(\varepsilon_0 \pm k\chi + \chi^{\frac{1}{2m}}\right)^{2(1-m)}}, \qquad (2)$$

де $k = \frac{z\,|\vec{E}|\,x_{\max}}{E_{\max}}$, z – заряд іона віддачі, знак “+” відповідає випадку, коли зовнішнє поле спрямоване проти напрямку пучка, а знак “–” – уздовж напрямку пучка.

Відзначимо, що величина напруженості пробою для чистих напівпровідників досить значна (вона становить $30\cdot10^6\,\frac{В}{см}$ для Si та $8\cdot10^6\,\frac{В}{см}$ для Ge відповідно), тому до досліджуваної шаруватої структури можна прикладати поля досить високої напруженості. На рисунках 1-4 представлені розрахункові залежності ПКАВ V, Ti, Mo, W у кремнії, які було отримано при опроміненні системи метал-напівпровідник іонами Ar^+ з енергією 800 кеВ у зовнішньому електричному полі з напруженістю $300\,\frac{кВ}{мм}$ (1) та $100\,\frac{кВ}{мм}$ (2) (що становило 10% та 3,3% від напруги пробою відповідно), яке спрямовано уздовж пучка, і з тими ж значеннями напруженості поля, яке спрямовано назустріч пучку (криві (4) і (3) відповідно). Точки відповідають профілю концентрації атомів віддачі без накладення зовнішнього поля. Товщини плівок підбиралися рівними довжині середнього проективного пробігу іонів аргону з енергією 800 кеВ у металах і знаходилися в діапазоні 1500Å ÷ 3000Å. Доза опромінення була прийнята рівною 10^{16} см$^{-2}$.

Таким чином, зовнішнє електричне поле дозволяє керувати процесами формування ПКАВ. Це обумовлено тим, що енергетичний спектр атомів (іонів) віддачі має такий вигляд [5]: $N(E) \approx \frac{C}{(E+U_0)^{2(m-1)}}$, де C – константа. Зовнішнє електричне поле, що спрямоване уздовж пучка, ефективно зменшує енергію поверхневого зв'язку металевої плівки U_0. Тому в напівпровідник проникає більша частка атомів металу з малими енергіями, які мають малі пробіги. Це приводить до збільшення максимуму концентрації впроваджених атомів віддачі й зсуву глибини розташування максимуму ближче до границі. Коли ж зовнішнє електричне поле

спрямоване назустріч пучку, енергія поверхневого зв'язку плівки ефективно збільшується. При цьому зменшується частка атомів віддачі, що пройшли в напівпровідник. Відбувається зменшення максимуму ПКАВ й зсув його положення вглиб напівпровідника. У випадку, коли напрямок зовнішнього електричного поля збігається з напрямком пучка, крутість переднього й заднього фронтів ПКАВ істотно збільшується, а в протилежному випадку – зменшується.

Пеліхатий М.М. – кандидат фізико-математичних наук, зав. лаб.;
Гетманець О.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Щапов Ю.Ф. – молодший науковий співробітник.

[1] R. Grötzschel, R. Klabes, U. Kressing, A. Schmidt. Recoil implantation from thin surface films on silicon // *Rad. Eff.*, **2**(36), pp. 129-134 (1978).
[2] U. Littmark, W. Hofer. Recoil mixing in solids by energetic ion beams // *Nucl. Instr. and Meth.*, **168**, pp. 329-342 (1980).
[3] О.М. Гетманец, Н.М. Пелихатый, З.С. Саган. О профиле концентрации атомов отдачи вблизи поверхности раздела двух сред // *Проблемы ядерной физики и космических лучей*, вып. 25, сс. 74-77 (1985).
[4] О.М. Гетманец, С.А. Дуплий, И.И. Залюбовский, Н.М. Пелихатый. Процессы формирования профилей распределения атомов отдачи в приповерхностных слоях // *Поверхность*, (2), сс. 60-65 (1989).
[5] P. Sigmund. Theory of Sputtering. I. Sputtering yield of amorphous and polycrystalline targets // *Phys. Rev.*, **184**(2), pp. 383-416 (1969).

O.M. Getmanets[2], N.M. Pelikhatyj[1], Yu.F. Shchapov[1]

Processes of Recoil Atoms Concentration Profiles Formation by Ionic Bombardment of Layered Structures in the External Electric Field

[1] 'V.N. Karazin' Kharkiv National University
Kharkiv, 61077, Svoboda area, 4: E-mail:sun@univer.kharkov.ua
[2] Kharkiv State Zootechnical and Veterinary Academy, Kharkiv, 62341,
E-mail:zoovet@zoovet.kharkov.ua

Processes of implantation of atoms of surface metal films in semiconductor a undercoat are explored at the ionic bombardment of structure metal-semiconductor in an exterior electric field. It is shown, that quantity and a direction of an external field influence a lateral view of concentration of recoil atoms that enables to drive processes of formation of lateral views of the implanted impurities in the semiconductor.